

<b>TÍTULO</b>	<b>SOFTWARE PARA EL CALCULO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN LINEAS SUBTERRANEAS</b>		
<b>AUTOR</b>	<b>CAMINO BAUSELA VIVAR</b>		
<b>DIRECTOR / PONENTE</b>	<b>MARIO MAÑANA CANTELI</b>		
<b>TITULACIÓN</b>	<i>Grado en ingeniería en Ingeniería eléctrica</i>	<b>FECHA</b>	/02/2020

## PLABRAS CLAVE

Línea subterránea, Media tensión, Intensidad máxima admisible, Ampacidad, Matlab, Software de cálculo.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento de la demanda de energía en núcleos urbanos y de la generación distribuida, implica la necesidad de construcción y repotenciación de las redes de distribución subterráneas. Se considera además un sobredimensionamiento de las redes españolas debido a unas consideraciones demasiado conservadoras bajo escenarios límite.

Ante este hecho, se plantea como medida, un análisis de la Ampacidad de las redes eléctricas ya existentes y de las nuevas líneas planificadas, bajo unas condiciones realistas, basadas en el conocimiento de la instalación y de las condiciones que la rodean y la implementación a futuro, de una gestión dinámica de estas, utilizando como referencia el folleto técnico TB640 – CIGRE y las normas IEC 60287

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha diseñado, mediante el programa informático Matlab, una herramienta capaz de realizar los cálculos de la Intensidad máxima admisible bajo diferentes situaciones y tipos de instalación, teniendo en cuenta las condiciones a las que se encuentra sometida.

Para las ecuaciones en las que se basan dichos cálculos, se ha utilizado como guía, como hemos dicho anteriormente, el informe TB640 publicado por CIGRE y las normas IEC 60287.

En primer lugar se ha creado una sección, cuyo objetivo será guiar al usuario a través de los puntos de partida y los diferentes parámetros que influyen en los resultados y porqué.

A continuación se ha analizado de este software de cálculo, tanto el Front-end que es la parte que interactúa con los usuarios, como el back-end, que es la

lógica interna que maneja los datos y ecuaciones introducidas, y que no es directamente accesible a los usuarios que utilizan la aplicación.

Finalmente se han llevado a cabo simulaciones de diferentes instalaciones, o de estas mismas pero sometidas a diferentes condiciones, definiendo unos parámetros de entrada para el programa y analizado los resultados obtenidos, tanto de forma individual como comparándolos entre ellos, para poder afirmar el buen funcionamiento del programa.

## **CONCLUSIONES.**

El trabajo realizado ha permitido diseñar una herramienta útil y accesible eliminando el proceso tedioso y monótono de hacer los cálculos a mano y también la necesidad de que la persona que los realice, necesite tener conocimientos profundos de las normas para el cálculo de las intensidades.

Por otro lado, considero esta, una herramienta con potencial para poder realizar estudios posteriores, analizando como en función de los parámetros de entrada cambian los valores de salida, tanto para la amplitud como para los parámetros que influyen en esta.

Además se ha diseñado el programa para ser fácilmente escalable y que, si se requiere, se puedan añadir en un futuro nuevas posibilidades y funciones.

A nivel personal, el desarrollo de este proyecto ha sido un reto en dos aspectos diferentes:

Por un lado, adquirir y ampliar los conocimientos necesarios sobre los sistemas de instalación subterránea, elementos que las componen y los cálculos necesarios para el programa.

Por otro lado, el reto de aprender a programar en Matlab de forma autodidacta, creando una herramienta desde cero, empezando por el concepto y la planificación de esta, el diseño, el desarrollo e ideando finalmente soluciones para cada uno de los problemas que iban surgiendo en el proceso de creación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cigre TB640 – A guide for Rating Calculations of insulated cables  
Normas: UNE\_21144\_1\_1 /IEC60287\_1\_1 2006.  
Normas: UNE\_21144\_2\_1 /IEC60287\_2\_1 2006.  
F. J. B. García, Sistemas de energía eléctrica en alta tensión, Santander: Universidad Cantabria, 2017.  
Sistemas de energía eléctricas en alta tensión – Francisco Javier Balbás García.  
Normativa Viesgo: Proyecto tipo de líneas de alta tensión subterráneas.  
[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01\\_accesible.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01_accesible.pdf)  
Normativa Viesgo: norma instalaciones de enlace en alta tensión (hasta 36 kv.)  
[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01\\_NP\\_instalaciones\\_enlace\\_AT\\_hasta\\_36kV.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01_NP_instalaciones_enlace_AT_hasta_36kV.pdf)  
<https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_en\\_Espa%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_en_Espa%C3%B1a)  
<https://www.europapress.es/sociedad/noticia-asi-creceran-grandes-ciudades-espanolas- proximos-anos-20160202114408.html>  
PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030  
[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradodeenergíayclima2021-2030\\_tcm30-487345.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradodeenergíayclima2021-2030_tcm30-487345.pdf)  
<https://www.prysmianclub.es/catalogos/>  
[https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide\\_7.jpg](https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide_7.jpg)  
<https://imseingenieria.blogspot.com/search?q=pantallas>  
<http://engineering.electrical-equipment.org/>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_pelicular](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular)  
<https://www.elektrisola.com/es/alambres-litz/productos/terminologia-basicos/bases-tecnicas-y-calculos.html#c6616>  
<https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/perdidas-dielectrico-cables>  
<https://electricalbaba.com/cable-sheath-loss-calculation/>  
[http://qualitaslearning.com/w/c/t/G\\_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf](http://qualitaslearning.com/w/c/t/G_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf)

<b>TITLE</b>	<b>SOFTWARE PARA EL CALCULO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN LINEAS SUBTERRANEAS</b>		
<b>AUTHOR</b>	<b>CAMINO BAUSELA VIVAR</b>		
<b>DIRECTOR / SPEAKER</b>	<b>MARIO MAÑANA CANTELI</b>		
<b>CERTIFICATION</b>	<i>Grado en ingeniería en Ingeniería eléctrica</i>	<b>FECHA</b>	/02/2020

## KEYWORDS

Underground line, Medium voltage, Maximum admissible intensity, Ampacity , Matlab , Calculation software .

## PROBLEM STATEMENT

The increase in the demand for energy in urban centers and distributed generation implies the need for construction and repowering of underground distribution networks. It is also considered an oversizing of Spanish electrical grids due to overly conservative considerations under limit scenarios .

Given this fact, it is proposed as a solution an analysis of the Ampacity of the existing power grids and new planned lines, under realistic conditions, based upon knowledge of the installation, the surrounding conditions and implementation in the future, of a dynamic management of these, using as reference the TB640 - CIGRE technical brochure and the IEC 60287 standards.

## PROJECT DESCRIPTION

This project has been designed using the software Matlab , a tool capable of performing the calculations of the maximum allowable intensity under different situations and types of installation, as well as taking into account the conditions to which it is subject .

For the equations on which these calculations are based , the TB640 report published by CIGRE and the IEC 60287 standards have been used as a guide .

In the first place , a section has been created, whose objective will be guiding the user through the key points and the different parameters that affect the results and why.

After that, we have analyzed,from this software, both the Front-end, that is the part that interacts with users, as well as the back-end , which is the internal logic that handles the data and equations inputed, and not directly accessible to the end-users of the application.

Finally, simulations of different installations have been performed, or of the same ones, but subject to different conditions, defining input parameters for the program and analyzing the results obtained, both individually and comparing them between themselves, in order to confirm the good operation of the program.

## CONCLUSIONS

The work has allowed us to design a useful and accessible tool eliminating the tedious and monotonous process of doing the calculations by hand and also the need for the person who performs them, need to have deep knowledge of the standards for the calculation of intensities.

On the other hand, on this side, a tool with the potential to carry out further studies, analyzing how the output values change depending on the input parameters, both for the ampacity and for the parameters that influence it.

In addition, the program has been designed to be easily scalable and, if required, new possibilities and functions can be added in the future.

On a personal level, the development of this project has been a challenge in two different aspects:

On the one hand, acquire and expand the necessary knowledge about underground installation systems, elements that compose them and the necessary calculations for the program.

On the other hand, the challenge of learning to program in Matlab in a self-taught way, creating a tool from scratch, starting with the concept and planning of this, design, development and finally devising solutions for each of the problems that arose in the process of creation.

## BIBLIOGRAPHY

Cigre TB640 – A guide for Rating Calculations of insulated cables

Normas: UNE\_21144\_1\_1 /IEC60287\_1\_1 2006.

Normas: UNE\_21144\_2\_1 /IEC60287\_2\_1 2006.

F. J. B. García, Sistemas de energía eléctrica en alta tensión, Santander: Universidad Cantabria, 2017.

Sistemas de energía eléctricas en alta tensión – Francisco Javier Balbás García.

Normativa Viesgo: Proyecto tipo de líneas de alta tensión subterráneas.

[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01\\_accesible.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01_accesible.pdf)

Normativa Viesgo: norma instalaciones de enlace en alta tensión (hasta 36 kv.)

[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01\\_NP\\_instalaciones\\_enlace\\_AT\\_hasta\\_36kV.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01_NP_instalaciones_enlace_AT_hasta_36kV.pdf)

<https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_en\\_Espa%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_en_Espa%C3%B1a)

<https://www.europapress.es/sociedad/noticia-asi-creceran-grandes-ciudades-espanolas-proximos-anos-20160202114408.html>



## PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030

[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradoeenergiayclima2021-2030\\_tcm30-487345.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradoeenergiayclima2021-2030_tcm30-487345.pdf)

<https://www.prysmianclub.es/catalogos/>

[https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide\\_7.jpg](https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide_7.jpg)

<https://imseingenieria.blogspot.com/search?q=pantallas>

<http://engineering.electrical-equipment.org/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_pelicular](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular)

<https://www.elektrisola.com/es/alambres-litz/productos/terminologia-basicos/bases-tecnicas-y-calculos.html#c6616>

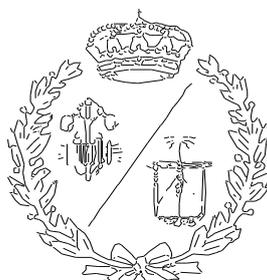
<https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/perdidas-dielectrico-cables>

<https://electricalbaba.com/cable-sheath-loss-calculation/>

[http://qualitaslearning.com/w/c/t/G\\_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf](http://qualitaslearning.com/w/c/t/G_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf)

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Proyecto Fin de Grado***

**SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA  
INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA  
LINEAS SUBTERRANEAS**

**(SOFTWARE FOR THE CALCULATION OF THE  
MAXIMUM CURRENT RATING FOR  
UNDERGROUND LINES)**

Para acceder al Título de

**GRADUADA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Autor: Camino Bausela Vivar

**FEBRERO  
2020**



# Software para el cálculo de la intensidad máxima admisibile para líneas subterráneas

Titulación: Ingeniería eléctrica  
Alumno: Camino Bausela Vivar  
Tutor: Mario Mañana Canteli

FEBRERO - 2020

U C

UNIVERSIDAD  
DE CANTABRIA

## AGRADECIMIENTOS:

A todos vosotros, que me habéis acompañado, ayudado y levantado.

Que habéis estado a mi lado, aunque a veces no pudiera ser literal.

Que habéis creído en mí más que yo misma.

Que me habéis enseñado que el mejor don, es el del esfuerzo;

Y que no hay que rendirse nunca.

Gracias.

## INDICE:

1. RESUMEN .....	Pág.4
2. INTRODUCCIÓN .....	Pág.5
2.1. Contexto general .....	Pág.5
2.2. Motivación .....	Pág.9
2.3. Objetivos .....	Pág.10
3. METODOLOGÍA .....	Pág.12
4. FACTORES .....	Pág.13
4.1.1. Partes del cable .....	Pág.13
4.1.2. Métodos de instalación .....	Pág.21
5. CONSIDERACIONES EN EL CÁLCULO .....	Pág.23
5.1. Parámetros Térmicos .....	Pág.25
5.2. Parámetros Eléctricos .....	Pág.26
6. PROGRAMA .....	Pág.30
6.1. Herramientas .....	Pág.30
6.2. Interfaz gráfica de usuario .....	Pág.31
6.3. Arquitectura del programa .....	Pág.40
6.3.1. Elementos del programa .....	Pág.40
6.4.2. Arquitectura interna .....	Pág.44
7. RESULTADOS .....	Pág.48
8. CONCLUSIONES .....	Pág.58
9. BIBLIOGRAFÍA .....	Pág.59

## 1. RESUMEN:

El propósito de este trabajo es diseñar una herramienta, elemento clave de este trabajo e inseparable del mismo, que permita realizar los cálculos necesarios para obtener la capacidad máxima de transporte de los cables subterráneos de tipo AL-RHZ1, siendo estos unos de los modelos más utilizados por la empresa distribuidora Viesgo. Estos se hacen a través del conocimiento de unos puntos de partida como son el tipo de cable y método instalación, así como las condiciones del entorno más relevantes, como son la resistividad térmica del terreno, profundidad de instalación y temperaturas ambientes del suelo.

A su vez, dicha herramienta puede servir tanto para realizar los cálculos iniciales de ampacidad, en la fase de diseño e ingeniería, como de soporte para realizar una gestión dinámica de las líneas de transporte, permitiendo una mejor optimización de las infraestructuras ya disponibles, cuya carga real en el circuito suele estar por debajo de las condiciones nominales, sin exceder las limitaciones del diseño del cable.

Para el estudio de la ampacidad de dichos cables se utilizará como referencia general la guía CIGRE TB640, y, a través de esta, se ha profundizado en las normas IEC 60287 y UNE 21144, que proponen el uso del método analítico para realizar los cálculos.

Encontraremos dentro de la documentación de este proyecto, las características, manejo y ejemplos del programa, los cuales avalan tanto las conclusiones del trabajo como la utilidad de este software de cálculo.

Finalmente se expondrán casos puntuales, donde compararemos, bajo las mismas condiciones, los resultados obtenidos por el programa, con los resultados reales obtenidos empíricamente.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Contexto general:

La energía eléctrica es un bien de consumo de primera necesidad en la sociedad. Actualmente se utiliza para una infinidad de aplicaciones y resulta imprescindible para el desarrollo económico del día a día, tanto a nivel residencial como a nivel industrial, comercial y de transporte (ferrocarril, tranvía, coche eléctrico).

En resumen, la disponibilidad de la energía eléctrica es una necesidad social, imprescindible para su desarrollo y bienestar.

La propia normativa española establece la necesidad de garantizar la seguridad y la calidad del suministro eléctrico al menor coste posible.

En el contexto español, observamos los gráficos históricos de consumo energía total (englobando carbón, productos petrolíferos, gas natural y energía eléctrica, incluyendo renovables).

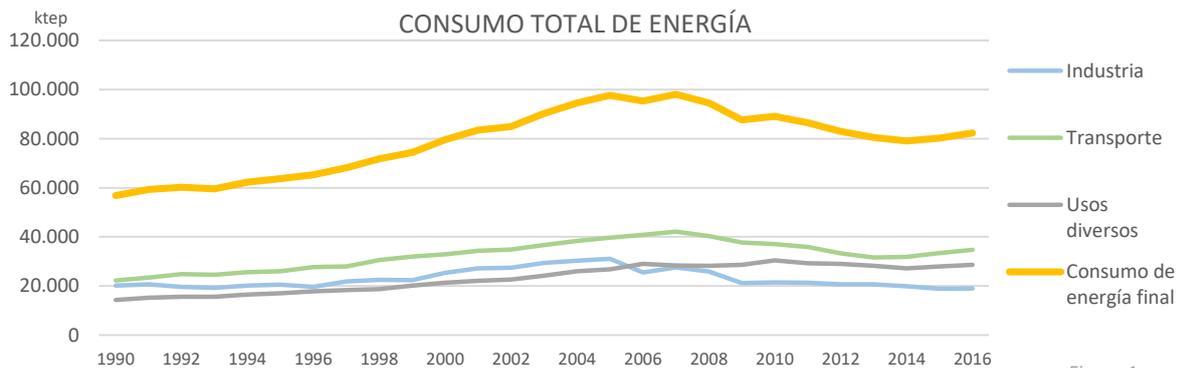


Figura 1

y la parte correspondiente al consumo exclusivamente de energía eléctrica,

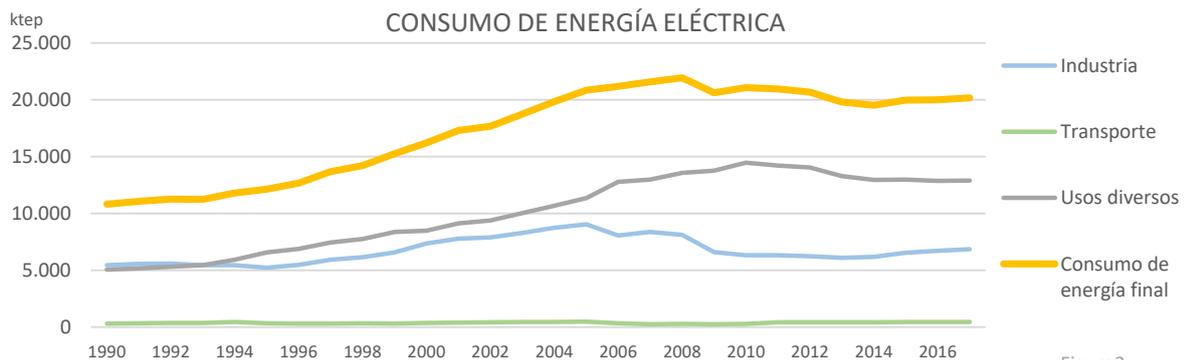


Figura2

Figuras [1] [2] : Gráficos de elaboración propia obtenidos a partir de los datos proporcionados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Figuras [1] [2]

Ambas representan el consumo de forma global y según los sectores de actividad. (Comercio, servicios, adm. Pública y residencial están recogidos en usos diversos, junto con pesca y agricultura).

Podemos afirmar que el marco energético español se caracteriza por haber sufrido inicialmente un crecimiento pronunciado de la demanda energética y con ello un aumento de la generación de energía, mayoritariamente de origen térmico, nuclear y hidroeléctrica, la cual alcanza un punto de inflexión en 2007, iniciando un decrecimiento hasta 2014 inducido por la caída de la demanda de productos petrolíferos y reforzado por los efectos de la crisis económica, lo que, por otro lado, sirvió de impulso a las energías renovables.

Esta situación se interrumpe en 2015, en un contexto de recuperación económica en el que la demanda energética se incrementa, comenzando de nuevo una tendencia al alza, de forma más moderada, que parece estar favorecida por la recuperación de la actividad económica, lo que posibilita unos niveles de producción más elevados, manteniéndose también en crecimiento las energías renovables, siendo en 2018, el 40% de la electricidad producida, de origen renovable.

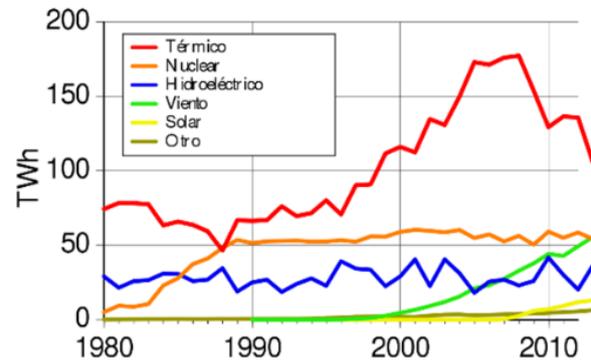


Figura [3]: Evolución de la producción eléctrica en España en TWh (1980-2012)

En contraposición se prevén cambios relevantes del modelo energético en los próximos años, originados por los siguientes factores:

▪ Crecimiento de la población en grandes ciudades:

España ha pasado de ser un país rural a alcanzar al resto de Europa en crecimiento de las ciudades, actualmente el 80% de la población española vive en zonas urbanas.

Se estima que más del 40% de la población española vivirá en 2030 en 15 grandes ciudades de más de 300.000 habitantes, siendo las ciudades más afectadas Madrid y Barcelona.

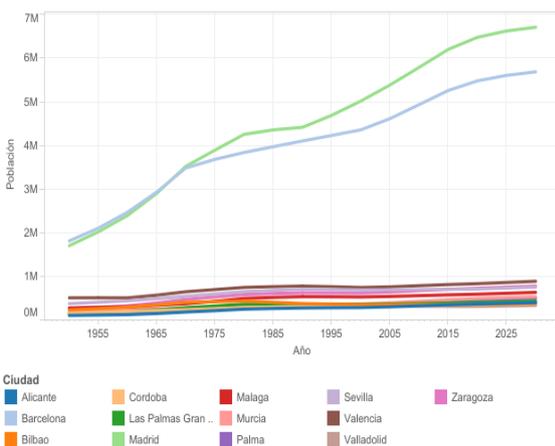


Figura [4]: Crecimiento demográfico actual y previsto hasta 2030 de las ciudades con mayor población de España, según estudios de europapress.

Menos llamativo, pero igualmente importante en proporción será el crecimiento de otras grandes ciudades como Alicante, Palma de Mallorca, Zaragoza, Las Palmas de Gran Canaria, Valladolid, Murcia, Málaga, Córdoba, Sevilla, Valencia y Bilbao.

Esto va a provocar unas concentraciones demográficas de los puntos de consumo eléctrico.

▪ Tecnologización de la sociedad.

La demanda eléctrica continuará con una tendencia creciente en las próximas décadas, no sólo por el incremento de los usos actuales, sino también por el progresivo desarrollo de nuevas aplicaciones.

Cada vez es más frecuente y sucede de forma más rápida la transformación del mundo analógico al mundo digital de las ciudades, desde el sector servicios hasta administraciones públicas y el sector doméstico, evolucionando para llegar a convertirse en “Smart Cities”.

▪ Uso de vehículos eléctricos como medio principal de transporte.

El transporte es el sector que más energía consume en España, alcanzando un 40% del total nacional donde el vehículo turismo representa el 15% de toda la energía final consumida.

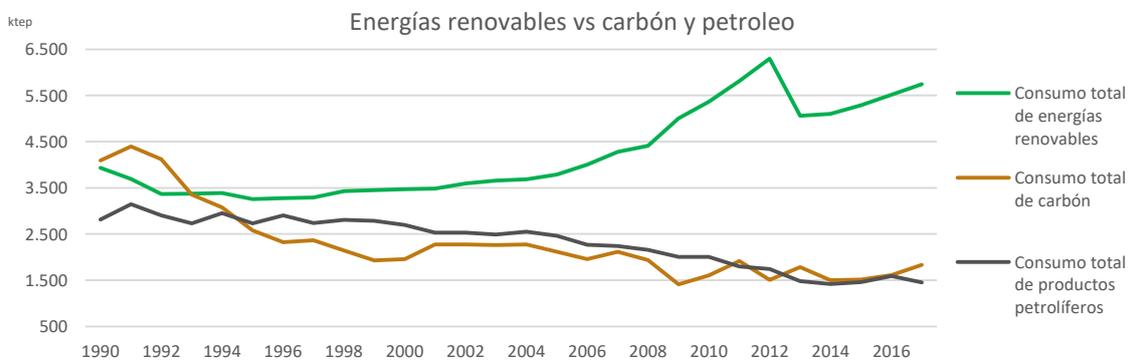
El I.D.A.E. ha puesto en marcha un programa específico de ayuda y financiación donde promueve el uso de la red ferroviaria (según los datos O.T.L.E ha aumentado su uso en un 25% desde 2001 [2]), incentiva la adquisición de vehículos eléctricos y se compromete a la implantación de una Infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.

Actualmente solo el 1% del parque automovilístico del país es sostenible, REE prevé que esta cifra se sitúe en 2,4 millones en 2030 y los 24 millones 2050, estimando ya que el 100% de los turismos sean eléctricos.

▪ Energías Renovables como principal sistema de generación.

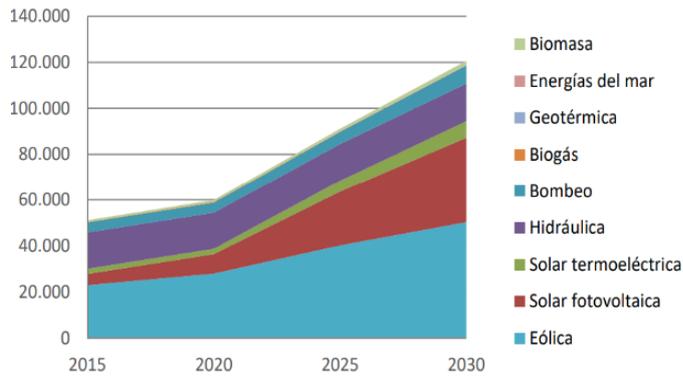
La política energética española persigue una transición hacia un modelo donde las energías renovables son las protagonistas en la cobertura de la demanda.

La planificación existente es acorde a las directrices de la unión europea establecidas en el “Paquete de invierno “, condicionada a su vez a nivel global destacando el Acuerdo de Paris.



Figuras [5] : Gráfico de elaboración propia obtenido a partir de los datos proporcionados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2021-2030) establece como reto para



2030 que el 74% de la generación será energía renovable, siendo al menos un 42% de renovables sobre el uso final de la energía total.

También se compromete en reducir en un 21% las emisiones de gas de efecto invernadero respecto a 1960.

Figura [6]: Capacidad instalada de tecnologías renovables y proyección a 2030 según el Ministerio para la Transición Ecológica, 2019.

▪ Sistemas de Generación junto a los puntos de consumo. La Micro-generación.

La mejora y desarrollo de este tipo de energías, una mayor concienciación social del medio ambiente y el consumo sostenible está incrementando las instalaciones de generación eléctrica por los propios consumidores; huertas solares, mini-eólica o hidroeléctrica que puedan inyectar la energía generada directamente a la red de distribución cercana a los puntos de consumo, sin necesidad de pasar a la red de alta tensión para su transporte.

▪ Aumento de la generación distribuida.

Se entiende como generación distribuida aquella que se conecta a la red de distribución de energía eléctrica, sin necesidad de pasar a la red de alta tensión para su transporte, y que se caracteriza por encontrarse instalada en puntos cercanos al consumo.

Para poder hacer frente al aumento de la electricidad demandada en zonas de población muy concentradas, junto con la reducción de la energía térmica y el aumento de las energías renovables dentro del mix energético, la tendencia de la red de transporte española será cada vez más hacia un Sistema de generación distribuida.

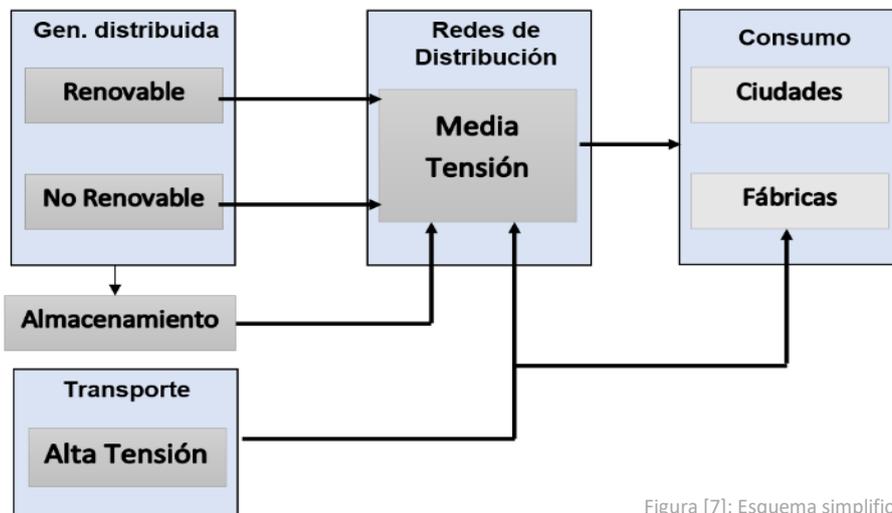


Figura [7]: Esquema simplificado de un sistema de generación distribuida.

## 2.2 Motivación.

A causa de los factores anteriormente mencionados, las Redes de distribución circundantes a los núcleos urbanos e infraestructuras destinadas a la actividad económica-industrial deberán hacer frente al aumento de la electricidad demandada, el aumento de la generación distribuida y la integración de las energías renovables.

Esto implica la construcción de nuevas líneas y la repotenciación de las ya existentes. En ocasiones la dificultad técnica o el coste económico imposibilitan la realización de las mismas.

La utilización de cables subterráneos es una característica típica para este tipo de instalaciones.

Para el dimensionamiento de las instalaciones es básico realizar el cálculo eléctrico de la Intensidad máxima admisible o ampacidad.

La Intensidad máxima admisible o ampacidad, es la corriente en amperios que un conductor puede transportar continuamente (estado estacionario), sin exceder su temperatura máxima de operación, y es un parámetro vital para la elección de los conductores y su sección.

Hay que tener en cuenta que, en las planificaciones de las infraestructuras ya existente, muchos de los cálculos se han realizado:

- Para un escenario de demanda muy superior a la realidad, con la intención de asegurar la cobertura de la demanda con un margen suficiente.
- Teniendo en cuenta escenarios meteorológicos extremos, bajo las condiciones más adversas de temperatura.
- Mediante el uso de Tablas y factores de corrección, ya que es un método común debido a la sencillez y rapidez del método, pero de muy poca precisión, con condiciones muy generalizadas, que no abarcan todos los casos y condiciones posibles por las que puede verse afectado un conductor eléctrico en una canalización subterránea.

A lo anterior se añade el que es común y aceptado disponer además de un margen de reserva, sobre la punta de demanda de un 10%.

Todo esto nos permite concluir que las redes españolas de distribución están sobredimensionadas, pudiendo en condiciones normales transportar una mayor potencia que la estimada en sus planificaciones.

## 2.3 Objetivos.

Basándonos en las conclusiones expuestas anteriormente, podemos proponer, además de la repotenciación y construcción de nuevas líneas, una solución alternativa, que sería la gestión dinámica de las redes.

La gestión dinámica (o en tiempo real) de las redes, es un sistema basado en la obtención, por parte del operador de red, de la corriente máxima admisible que hay en cada momento en los conductores, utilizando datos en tiempo real de los puntos de partida para la realización de los cálculos.

El propio operador en función del resultado puede tomar la decisión de aumentar la transmisión de energía.

Los cálculos se efectúan durante el tiempo de operación del cable, de manera periódica en intervalos de tiempo especificados.

Esto permite eliminar suposiciones (que son típicamente las del peor caso) y proporciona resultados mucho más precisos y realistas, que se acercan mucho a los valores reales.

Se recomienda como medidas futuras a realizar:

- El análisis de la ampacidad de los cables de las redes ya existentes, desde este nuevo punto de vista de gestión, menos conservador y con un mejor conocimiento de los factores que influyen en la ampacidad del cable y su entorno, lo que es posible gracias al desarrollo de las tecnologías necesarias para ello.
- Aplicar también estos análisis en los estudios de viabilidad y la fase de diseño para nuevas líneas o la repotenciación de estas, teniendo en cuenta el entorno mediante mediciones previas, datos históricos y predicciones.
- Una gestión dinámica de las anteriores, durante la fase de operación.

Para ello, en este proyecto se ha diseñado, mediante el programa informático Matlab, una herramienta capaz de realizar los cálculos de la ampicidad teniendo en cuenta las diferentes condiciones a las que está sometida una instalación subterránea situada en un emplazamiento específico.

Para las ecuaciones en las que se basan dichos cálculos, se ha utilizado como guía, el informe TB640 publicado por CIGRE.

De este software, analizaremos más adelante, tanto el Front-end que es la parte que interactúa con los usuarios, como el back-end, que es la lógica interna que maneja los datos y ecuaciones introducidas, y que no es directamente accesible a los usuarios que utilizan la aplicación.

Por otro lado, se ha creado una sección, cuyo objetivo será guiar al usuario a través de los puntos de partida y los diferentes parámetros que influyen en los resultados y porqué.

Para finalizar, estudiaremos algunos casos individuales, analizando los datos proporcionados por el programa y comparando los resultados obtenidos con resultados reales, siempre que esto sea posible.

### 3. METODOLOGÍA.

El consejo internacional de grandes sistemas eléctricos, CIGRE, es una organización global sin fines de lucro en el campo de la electricidad de alto voltaje.

Los Comités de Estudio de CIGRE designan Grupos de Trabajo de expertos reconocidos internacionalmente para investigar y publicar el estado del arte en el campo elegido. El resultado es en forma de folletos técnicos.

Para el estudio de la ampacidad de cables subterráneos, se ha utilizado como referencia principal el folleto técnico TB640. En general, no proporciona el método de cálculo apropiado, sino que tiene por objeto ayudar y guiar al usuario referenciando las diferentes publicaciones que contienen esos métodos, y cuando existe más de un método de cálculo, las diferencias entre estos.

Hay que tener en cuenta que este folleto técnico no es una norma en sí, pero está predominantemente basado en las normas IEC 60287, siendo sus equivalentes españolas las normas UNE\_21144, las cuales, bajo la guía del TB640, van a proporcionar las bases de nuestros cálculos.

La norma IEC 60287\_1\_1 contiene los métodos para el cálculo de la intensidad máxima admisible en los cables a partir de los detalles del incremento de temperatura admisible, resistencia del conductor, así como las fórmulas para el cálculo de las pérdidas originadas por los diferentes efectos que sufren los cables.

La norma IEC 60287\_2\_1 contiene los métodos para el cálculo de la resistencia térmica interna de los cables instalados al aire, enterrados o en conductos.

Dichas normas se basan en técnicas analíticas. El enfoque adoptado por los métodos analíticos consiste en representar el circuito del cable utilizando un análogo eléctrico al problema térmico.

La precisión de los métodos analíticos puede ser muy alta para instalaciones sencillas, especialmente en el caso de cables de un solo núcleo, en los que se puede calcular fácilmente la resistencia térmica y la capacidad de cada capa.

Además, dentro de las metodologías de estudio se ha elegido un método de análisis analítico debido a su buena relación precisión sencillez. Permitiendo obtener buenos resultados sin realizar unos cálculos excesivamente largos y complejos.

Son los métodos aplicados con mayor frecuencia. Los cuestionarios que realiza el CIGRE indicaron que los estándares de la IEC son siempre/frecuentemente utilizados por el 79% de los encuestados y solo un 9% respondió que nunca las había usado como referencia.

## 4.FACTORES

Como ya hemos mencionado anteriormente, la intensidad máxima admisible, o ampacidad, no es una característica propia del cable ya que los elementos que la determinan no dependen solo del cable en sí mismo, sino también de las condiciones del entorno en el que se este se encuentra. En las próximas secciones se ofrece una visión general de los diversos factores que tienen impacto en los valores finales de la intensidad. Así como su origen, como identificarlos y la manera en que afectan.

### 4.1 - Identificación de los Puntos de partida.

Los puntos de partida son los datos que debemos conocer, de forma previa a hacer los cálculos con el programa y que serán demandados por este para poder realizar los cálculos de la ampacidad.

Cabe resaltar la importancia en la precisión de los puntos de partida, que son el elemento clave para obtener resultados de mayor exactitud. Después de todo, sin los puntos de partida correctos, los cálculos de clasificación terminarán produciendo resultados engañosos. Se espera que lo descrito a continuación no sirva solo de información, sino también utilidad como guía para introducir correctamente los datos que solicita el programa.

Puntos de partida descritos:

#### 4.1.1 - Partes del cable.

Los cables de media tensión subterráneos están formados por los siguientes elementos:

- Conductor.
- Semiconductora Interna.
- Aislamiento.
- Semiconductora externa.
- Pantalla metálica.
- Armadura (opcional).
- Cubierta exterior.

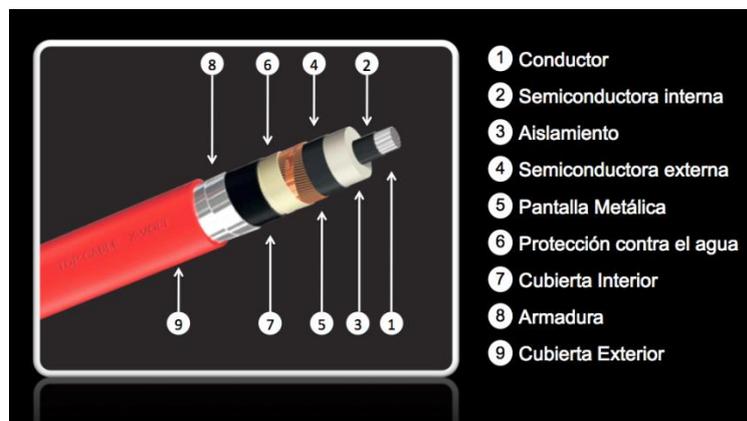


Figura [8]: Partes de un cable subterráneo de MT.

▪ Conductor:

Elemento encargado del transporte y circulación de la corriente eléctrica, también tiene la función mecánica de soportar los esfuerzos de tracción que puedan aparecer.

Generalmente cuanto mayor sea el área de sección transversal, o calibre, mayor será su capacidad para transportar corriente.

Los materiales más utilizados son:

- Cobre templado de alta conductividad.
- Aluminio de alta pureza.

Sus disposiciones más comunes son:

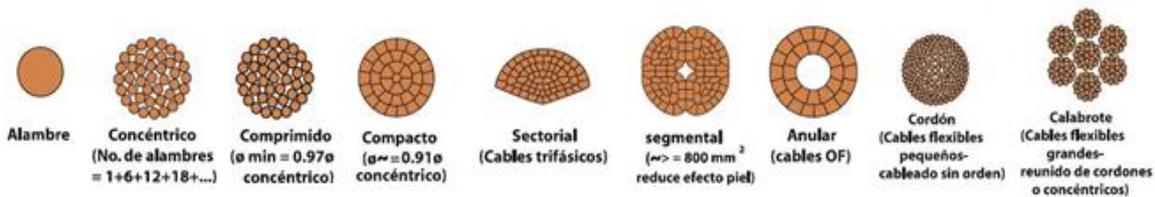


Figura [9] Disposiciones más comunes para conductores aislados.

▫ Datos técnicos relacionados con el conductor.

Muchos de los parámetros del conductor suelen estar proporcionados por el fabricante, como los diámetros o espesores de las partes del cable,

**CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES**

1 x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm <sup>2</sup> )	Ø NOMINAL AISLAMIENTO* (mm)	ESPESOR AISLAMIENTO* (mm)	Ø NOMINAL EXTERIOR* (mm)	ESPESOR CUBIERTA* (mm)	PESO* (kg/km)	RADIO DE CURVATURA ESTÁTICO (POSICIÓN FINAL) (mm)	RADIO DE CURVATURA DINÁMICO (DURANTE TENDIDO) (mm)
<b>12/20 kV</b>							
1 x 95/16	23,3	5,5	31	2,5	1020	465	620
1 x 150/16	26,2	5,5	34	2,5	1250	510	680
1 x 240/16	30,4	5,5	38	2,5	1620	570	760
1 x 400/16	35,6	5,5	4,3	2,5	2200	650	866
<b>12/20 kV</b>							
1 x 95/16	28,3	8,0	36	2,5	1270	540	720
1 x 150/16	31,2	8,0	39	2,5	1500	585	780
1 x 240/16	35,4	8,0	43	2,5	1910	645	860
1 x 400/16	40,6	8,0	48,3	2,5	2510	725	966

(\*) Valores aproximados (sujetos a tolerancias propias de fabricación).

Figura [10]: Tablas catálogo prysmian

resistencias en D.C y valores de reactancia o capacidad suelen estar proporcionados por el fabricante, y se pueden encontrar buscando en sus propios catálogos. También proporcionan los datos de las temperaturas máximas de operación del cable.

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

1 x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T 20 °C (Ω/km)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T MAX (90 °C) (Ω/km)	REACTANCIA INDUCTIVA (Ω/km)		CAPACIDAD (μF/km)	
	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV	18/30 kV	12/20 kV	18/30 kV
1 x 95/16	0,320	0,410	0,123	0,132	0,217	0,167
1 x 150/16	0,206	0,264	0,114	0,123	0,254	0,192
1 x 240/16	0,125	0,161	0,106	0,114	0,306	0,229
1 x 400/16	0,078	0,100	0,099	0,106	0,376	0,277

Figura [11]: Tablas catálogo prysmian

El valor del coeficiente de temperatura a masa constante a 20°K para el cálculo de resistencia a máxima temperatura de operación proviene de la tabla 1, obtenida de la norma IEC 60287\_1\_1

Material	Resistivity ( $\rho$ ) ohm · m at 20 °C	Temperature coefficient ( $\alpha_{20}$ ) per K at 20 °C
a) Conductors		
Copper	1,724 1 10 <sup>-8</sup>	3,93 10 <sup>-3</sup>
Aluminium	2,826 4 10 <sup>-8</sup>	4,03 10 <sup>-3</sup>

Figura [12] IEC 60287\_1\_1, Tabla 1. Resistividad eléctrica

▪ Capa semiconductor interna / Externa:

▫ Capa semiconductor interna: La función principal de este componente es mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor.

Dicha capa, gracias a su conductividad, convierte en cilíndrica y lisa la superficie del conductor, ya que puede concebirse como parte integrante del mismo, eliminando así los posibles focos de gran sollicitación eléctrica, que pueden aumentar innecesariamente las pérdidas.

También impide la ionización del aire que, en otro caso, se encontraría entre el conductor metálico y el material aislante.

Se encuentra sometida al mismo potencial que el conductor.

▫ Capa semiconductor externa: Está formada por una mezcla extrusionada y reticulada de características químicas semejantes a la del aislamiento, pero de baja resistencia eléctrica. Cumple una función similar a la capa semiconductor interna y debe tener las mismas características, se encuentra dispuesta entre el aislamiento y la pantalla metálica.

La capa semiconductor externa se encuentra sometida al mismo potencial que la pantalla, es decir a tierra.

▪ Material Aislante:

La función del aislamiento es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa.

En régimen permanente y sobretensiones transitorias, el campo eléctrico al que se encuentra sometido el aislamiento debe ser inferior al de su tensión de perforación para evitar la ruptura dieléctrica del medio.

Es condicionante la temperatura límite de funcionamiento, ya que, si se llegase a superar, el aislamiento podría resultar dañado, reduciendo enormemente la vida útil del cable.

▫ Tipos de aislamiento:

- a) De papel impregnado: El cable aislado con papel sin humedad se impregna con un aceite dieléctrico para mejorar las características del aislante.
- b) Aislamiento de tipo seco: Compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos.
  - Polietileno reticulado (XLPE).
  - Etileno propileno (EPR).
  - Polietileno (PE).
  - Policloruro de vinilo. (PVC).

▫ Datos técnicos relacionados con el aislamiento.

— Resistencia Térmica del aislamiento ( $\rho_t$ ):

Es la propiedad física de un material que mide su capacidad de oponerse a un flujo de calor. Es una característica tabulada.

Material	Thermal resistivity ( $\rho_t$ ) K·m/W
<i>Insulating materials<sup>a</sup></i>	
Paper insulation in solid type cables	6,0
Paper insulation in oil-filled cables	5,0
Paper insulation in cables with external gas pressure	5,5
Paper insulation in cables with internal gas pressure:	
a) pre-impregnated	5,5
b) mass-impregnated	6,0
PE	3,5
XLPE	3,5
Ⓢ PPL	5,5 Ⓢ
Polyvinyl chloride:	
up to and including 3 kV cables	5,0
greater than 3 kV cables	6,0
EPR:	
up to and including 3 kV cables	3,5
greater than 3 kV cables	5,0
Butyl rubber	5,0
Rubber	5,0
<i>Protective coverings</i>	
Compounded jute and fibrous materials	6,0
Rubber sandwich protection	6,0
Polychloroprene	5,5
PVC:	
up to and including 35 kV cables	5,0
greater than 35 kV cables	6,0
PVC/bitumen on corrugated aluminium sheaths	6,0
PE	3,5
<i>Materials for duct installations</i>	
Concrete	1,0
Fibre	4,8
Asbestos	2,0
Earthenware	1,2
PVC	6,0
PE	3,5

Generalmente la podremos encontrar en el propio reglamento utilizado para hacer las calculaciones.

Los valores utilizados a lo largo de todo el proyecto provendrán de la tabla 1, obtenida de la norma IEC 60287\_2\_1

Figura [13]: IEC 60287\_2\_1, Tabla 1. Resistividades térmicas

– Permitividad relativa del aislamiento ( $\epsilon$ ):

Es un parámetro físico de los materiales que describe qué tanto es afectado por un campo eléctrico

– Factor de pérdida del aislamiento ( $\tan \delta$ ):

Relación entre la potencia activa y el valor absoluto de la potencia reactiva cuando el material aislante está sometido a una tensión senoidal.

Son características tabuladas:

La podremos encontrar en el reglamento utilizado para hacer las calculaciones.

Los valores utilizados a lo largo de todo el proyecto provendrán de la tabla 3, obtenida de la norma IEC 60287\_1\_1.

Type of cable	$\epsilon$	$\tan \delta^*$
<i>Cables insulated with impregnated paper</i>		
Solid type, fully-impregnated, pre-impregnated or mass-impregnated non-draining	4	0,01
Oil-filled, self-contained <sup>a</sup>	up to $U_o = 36$ kV	3,6
	up to $U_o = 87$ kV	3,6
	up to $U_o = 160$ kV	3,5
	up to $U_o = 220$ kV	3,5
Oil-pressure, pipe-type <sup>b</sup>	3,7	0,004 5
External gas-pressure <sup>c</sup>	3,6	0,004 0
Internal gas-pressure <sup>d</sup>	3,4	0,004 5
<i>Cable with other kinds of insulation</i>		
Butyl rubber	4	0,050
EPR <sup>e</sup>	up to and including 18/30 (36) kV cables	3
	greater than 18/30 (36) kV cables	3
PVC <sup>e</sup>	8	0,1
PE (HD and LD) <sup>e</sup>	2,3	0,001
XLPE <sup>e</sup>	up to and including 18/30 (36) kV cables (unfilled)	2,5
	greater than 18/30 (36) kV cables (unfilled)	2,5
	greater than 18/30 (36) kV cables (filled)	3,0
PPL	equal to, or greater than 63/110 kV cables	2,8

Figura [14]: IEC 60287\_1\_1, Tabla 3. Permitividad y factor de pérdida

▪ Pantalla metálica:

Las pantallas desempeñan distintas misiones, entre las que destacan:

- Confinar el campo eléctrico en el interior del cable.
- Lograr una distribución simétrica y radial del esfuerzo eléctrico en el seno del aislamiento.
- Limitar la influencia mutua entre cables eléctricos.
- Evitar, o al menos reducir, el peligro de electrocuciones

Para poder desempeñar su función adecuadamente, es necesario que estén conectadas a tierra.

Debemos distinguir 3 sistemas habituales de conexión a tierra:

· Conexión por ambos extremos (Solid Bonded):

Las pantallas están conectadas directamente entre sí y a tierra para que la tensión pantalla-tierra se mantenga próxima a cero.

Este método no evita la circulación de corrientes circulantes por las pantallas. Si se desprecian las corrientes de Foucault.

Se utilizará únicamente en líneas subterráneas de muy corto recorrido y en los casos en que las pérdidas de potencia puedan ser asumibles.

· Conexión por un solo extremo (Single Bonding):

Las pantallas están conectadas directamente a tierra en un solo punto de la línea, el resto se conectan a tierra a través de descargadores de sobretensión cuya única función es proteger los cables frente a perturbaciones externas.

Mediante estas conexiones se consigue eliminar las corrientes inducidas en las pantallas

Podemos distinguir 2 sistemas:

-Single-Point:

La tensión inducida en pantalla tendrá valor de 0 en el punto de conexión a tierra, y se irá incrementando hasta alcanzar el valor máximo en el punto más alejado de la conexión a tierra.

-Mid-Point o doble Single-Point:

Cuando la longitud de la línea es demasiado larga para utilizar la conexión Single-Point, se puede realizar la conexión a tierra en un punto medio del circuito y aislado de tierra mediante limitadores de tensión en cada extremo.

· Cruzamiento de pantallas (Cross Bonding):

Con las pantallas puestas a tierra en los dos extremos de la línea, se divide el trayecto en 3 tramos y se realiza la transposición de las pantallas.

De esta manera se induce una tensión entre la pantalla y tierra, pero se eliminan las corrientes inducidas.

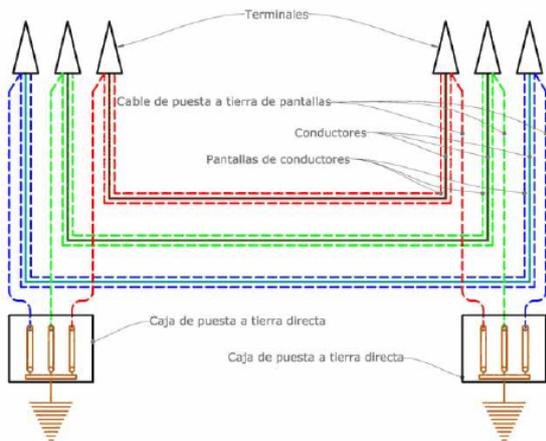


Figura [15]: Conexión por ambos extremos (Solid Bonded)

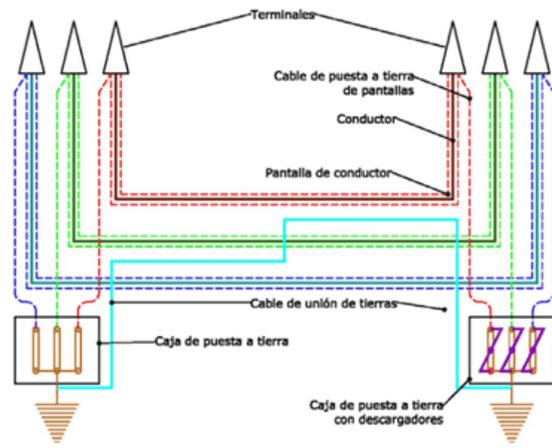


Figura [16]: Conexión por un solo extremo (Single-Point)

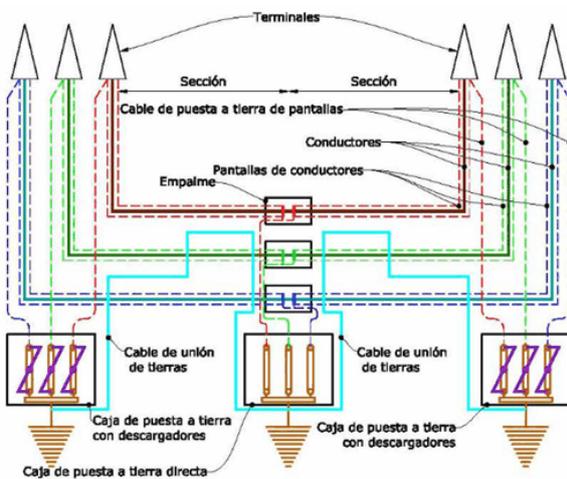


Figura [17]: Conexión por un solo extremo (Mid-Point)

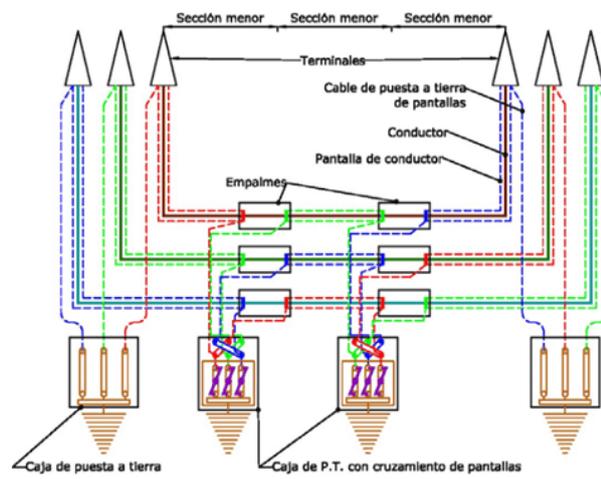


Figura [18]: Cruzamiento de pantallas (Cross Bonding)

#### ▪ Armadura:

La armadura Las armaduras están pensadas para proteger el cable asumiendo las siguientes funciones:

- Refuerzo mecánico, protegen el cable de fuerzas mecánicas, ya sean de compresión o de atracción, que no pueda soportar por sí solo.
- Pantalla eléctrica anti-accidentística.
- Barrera de protección contra roedores, insectos o larvas.

No son muy utilizados en el caso de los conductores de alta y media tensión, pero siempre se debe recordar su existencia si se prevé que el cable sufrirá fuerzas mecánicas excesivas.

▫ Datos técnicos relacionados con la pantalla y armadura.

– Resistividad del material de la pantalla/ armadura a 20°C ( $\rho_{20 \text{ pantalla}}$ ):

La resistividad es la fuerza con la que se opone el material dado al flujo de corriente eléctrica. Una resistividad baja indica un material que permite fácilmente el movimiento de carga eléctrica.

– Coeficiente de temperatura ( $\alpha_{20 \text{ pantalla}}$ ):

Cuantifica la relación entre la variación de la propiedad física de un material y el cambio de temperatura. En este caso determina el aumento o disminución de la resistencia eléctrica de acuerdo con la variación de temperatura y la naturaleza de cada material.

Son características tabuladas:

Los valores utilizados a lo largo de todo el proyecto provendrán de la tabla 1, obtenida de la norma IEC 60287\_1\_1

Material	Resistivity ( $\rho$ ) ohm · m at 20 °C	Temperature coefficient ( $\alpha_{20}$ ) per K at 20 °C
a) <i>Conductors</i>		
Copper	1,724 1 10 <sup>-8</sup>	3,93 10 <sup>-3</sup>
Aluminium	2,826 4 10 <sup>-8</sup>	4,03 10 <sup>-3</sup>
b) <i>Sheaths and armour</i>		
Lead or lead alloy	21,4 10 <sup>-8</sup>	4,0 10 <sup>-3</sup>
Steel	13,8 10 <sup>-8</sup>	4,5 10 <sup>-3</sup>
Bronze	3,5 10 <sup>-8</sup>	3,0 10 <sup>-3</sup>
Stainless steel	70 10 <sup>-8</sup>	Negligible
Aluminium	2,84 10 <sup>-8</sup>	4,03 10 <sup>-3</sup>
NOTE Values for copper conductors are taken from IEC 60028. Value for aluminium conductors are taken from IEC 60889.		

Figura [19]: IEC 60287\_1\_1, Tabla 1. Resistividades eléctricas para los materiales más comunes de las pantallas

▫ Cubierta exterior:

Es el elemento más externo del cable, su principal misión es proteger el cable frente a agentes dañinos externos: químicos, atmosféricos, biológicos, abrasivos, etc.

Puede además tener prestaciones diferentes según el tipo como mejor resistencia a la absorción del agua, ser ignífugas, con nula emisión de compuestos halogenados...

Los compuestos más empleados para cables de media y alta tensión son:

- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno (PE).
- Poliisobuteno.
- Neopreno o hypalon (menos frecuente).

### 4.1.2 – Métodos de instalación.

Los datos constructivos son obtenidos del documento de Viesgo: “PROYECTO TIPO LINEAS DE ALTA TENSION SUBTERRANEAS (HASTA 36 kV)”

Se podrán emplear tres sistemas para la instalación de los conductores:

- Conductores directamente enterrados:

Los conductores están en contacto directo con el terreno. En todo momento la profundidad mínima de la terna de cables más próxima a la superficie del suelo será de 80 cm en canalizaciones bajo calzada, y de 60 cm en el resto de las canalizaciones. Sobre el fondo de la zanja se dispondrá una capa de arena fina lavada de espesor no inferior a 5 cm sobre la que se colocarán los conductores, la separación mínima entre circuitos no será inferior a 4 cm. A continuación, se procederá al relleno de la zanja con arena fina lavada hasta una altura entre 10 y 28 cm en función de la localización de la zanja (terreno, acera o calzada), encima se instalarán las placas de protección mecánico. Finalmente se rellenará la zanja empleándose el tipo de tierra y las tongadas adecuadas, realizando un compactado mecánico hasta el nivel del terreno.

Este tipo de instalación es muy común en zonas donde exista la posibilidad de reabrir la zanja para incluir nuevos tramos de cable o bien, realizar mantenimientos de los ya colocados.

Las disposiciones más utilizadas son colocación de cables unipolares al tresbolillo, y en capa (en contacto o separados).

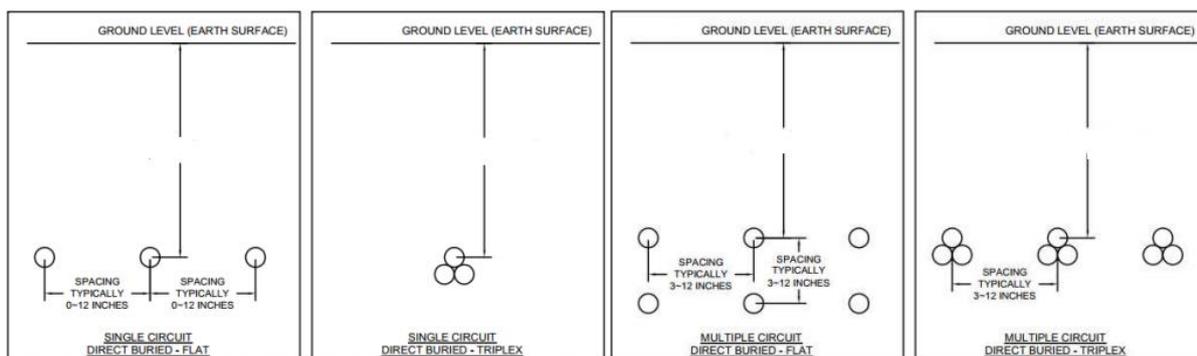


Figura [20]: Métodos de instalación más comunes para cables directamente enterrados

- Conductores en canalizaciones entubadas:

Los conductores están protegidos por un tubo con lo que se consigue una protección mecánica adicional que permite alargar la vida útil de estos. En contraposición, los bancos de ductos tienen menor capacidad de disipación de calor que los cables directamente enterrados, por lo que la corriente de servicio admisible será ligeramente inferior.

La dimensión de la zanja es en función de los tubos a alojar, de forma que en todo momento la profundidad mínima de la terna de cables más próxima a la superficie del suelo sea de 80 cm en canalizaciones bajo calzada, y de 60 cm en el resto de las canalizaciones. En cada uno de los tubos se instalará un solo circuito. El número de tubos a instalar será siempre par.

- con tubos enterrados:

Sobre el fondo de la zanja se dispondrá una capa de arena fina lavada de espesor mayor a 5 cm sobre la que se colocarán los tubos, la separación entre los mismos no será inferior a 4 cm. A continuación, se procederá al relleno de la zanja con arena fina lavada hasta una altura entre 10 y 28 cm por encima de la generatriz del tubo de energía más elevado en función de la localización de la zanja (terreno, acera o calzada) encima se instalarán las placas de protección mecánico. Finalmente se rellenará la zanja empleándose el tipo de tierra y las tongadas adecuadas, realizando un compactado mecánico hasta el nivel del terreno.

- con tubos hormigonados:

El procedimiento de este tipo de canalización con respecto el anterior es el mismo, con la diferencia de que, en vez de usar arena lavada, se procederá a rellenar con hormigón. En el recubrimiento de los tubos se empleará hormigón del tipo HNE-15, apto para rellenos y aplicaciones no estructurales.

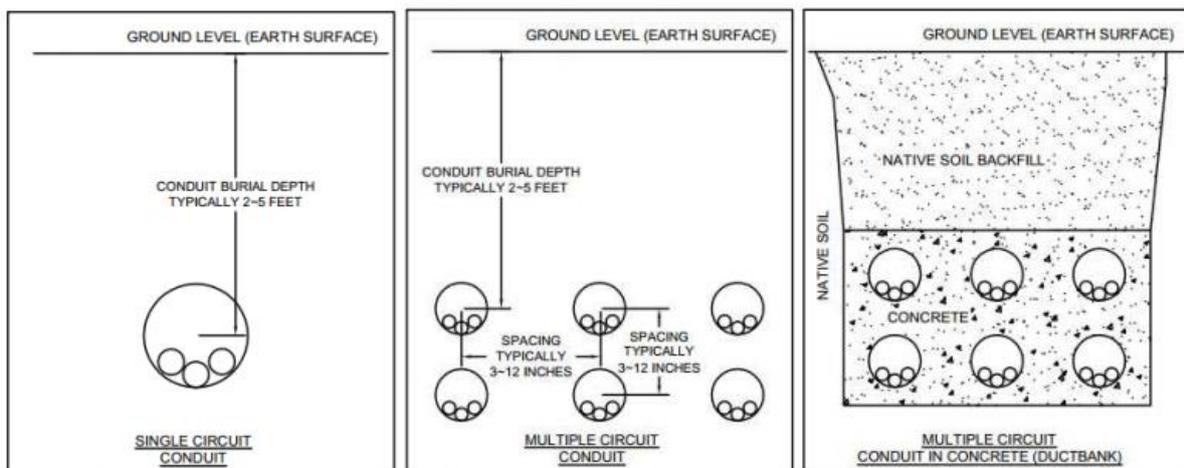


Figura [21]: Métodos de instalación más comunes para cables en el interior de canalizaciones enterradas.

## 5 .CONSIDERACIONES EN EL CALCULO.

Los cálculos realizados por el programa se han basado en la ecuación descrita por Neher, J.H. y McGrath, M. H. (1957), y recogidas en la norma técnica IEC 60287, que plantea la obtención de la intensidad a través de un modelo térmico equivalente, es decir:

Deduciremos la intensidad máxima admisible en un cable para corriente alterna, a partir de la expresión que da el calentamiento de un conductor por encima de la temperatura ambiente.

Considerando nuestro sistema en un régimen permanente, donde la intensidad que circula por el cable se considera constante, la circulación de corriente eléctrica a través del conductor y otros componentes conductores genera unas pérdidas por efecto Joule, en forma de calor ( $I^2R$ ). Por tanto, se origina un flujo de calor desde el interior hacia el exterior del mismo. Dichas pérdidas se ven influidas también por efectos originados por la circulación de corriente a través del propio conductor y los de alrededor.

Por otro lado, todas las capas que conforman el cable presentan un grado de resistencia térmica, siendo relevantes los materiales aislantes, de alta resistencia térmica y despreciable la de los materiales conductores.

Como consecuencia de lo anterior, aparecerán diferencias de temperatura entre las distintas capas, que limitarán la corriente máxima que se puede transportar sin dañar los componentes del cable.

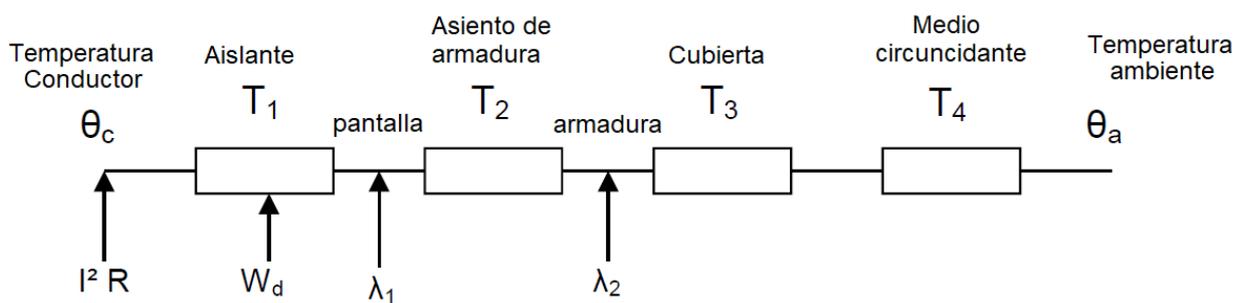


Figura [22]: Modelo térmico equivalente.

La expresión del calentamiento del conductor por encima de la temperatura ambiente obtenida por el modelo térmico equivalente:

$$\Delta\theta = (I^2R + 1/2 Wd) T_1 + [I^2R (1 + \lambda_1) + Wd] n T_2 + [I^2R (\lambda_1 + \lambda_2) + Wd] n (T_3 + T_4)$$

Donde:

- T1 : resistencia térmica por fase entre conductor y envolvente (K·m/W)
- T2 : resistencia térmica entre envolvente y armadura (K·m/W)
- T3 : resistencia térmica del revestimiento exterior (K·m/W)
- T4 : resistencia térmica del medio exterior (relación entre el calentamiento de la superficie del cable por encima del ambiente y las pérdidas totales por unidad de longitud) (K·m/W)
- Wd : pérdidas dieléctricas por unidad de longitud y por fase (W/m)
- $\lambda_1$  relación de las pérdidas en la cubierta metálica o pantalla con respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de ese cable.
- $\lambda_2$  es la relación de las pérdidas en la armadura respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de ese cable.
- R resistencia eléctrica de un conductor en corriente alterna a su temperatura máxima de Servicio ( $\Omega/m$ );
- $\Delta\theta$  calentamiento admisible del conductor con relación a la temperatura ambiente (°K)

La intensidad de corriente admisible de cables enterrados donde la desecación del suelo no existe o los cables están al aire se obtiene de la fórmula anterior como se indica a continuación:

$$I = \left[ \frac{\Delta\theta - w_d [0,5 T_1 + n (T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1) T_2 + nR (1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{0,5}$$

Ecuación [1]

$\Delta\theta_x$  Es el incremento entre la temperatura máxima de trabajo del conductor y la temperatura ambiente ( $\theta_{m\acute{a}x} - \theta_a$ ) (K).

- n - es el número de conductores aislados en servicio en el cable (conductores de la misma sección y transportando la misma carga);

Generalmente habrá que contar con la posibilidad de que se produzca una desecación parcial del suelo. Los cambios en la resistencia térmica externa, a consecuencia de la formación de una zona seca alrededor de un solo cable o de un solo circuito, serán obtenidos por la siguiente fórmula:

$$I = \left[ \frac{\Delta\theta - w_d [0,5 T_1 + n (T_2 + T_3 + vT_4)] + (v - 1)\Delta\theta_x}{R [ T_1 + n (1 + \lambda_1) T_2 + n (1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + vT_4)]} \right]^{0,5}$$

Ecuación [2]

- $v$  es el cociente de las resistividades térmicas de zonas de terrenos secos y húmedos ( $v = \rho_d/\rho_w$ ).
- $\rho_d$  es la resistividad térmica del terreno seco ( $K \cdot m/W$ );
- $\rho_w$  es la resistividad térmica del terreno húmedo ( $K \cdot m/W$ );
- $\rho_w$  es la temperatura crítica del terreno y temperatura de la frontera entre las zonas húmeda y seca ( $^{\circ}C$ ).
- $\Delta\theta_x$  es el incremento de la temperatura crítica del terreno e incremento de la temperatura de la frontera entre las zonas húmeda y seca sobre la temperatura ambiente  
 $\Delta\theta_x = (\theta_x - \theta_a)$  (K).

La norma indica que:

Cuando la intensidad de corriente admisible se calcula bajo condiciones de desecación parcial del suelo, es necesario calcularla también para condiciones donde la desecación parcial no ocurra y se debe utilizar la menor de las intensidades.

Como se aprecia en las expresiones anteriores existen varios parámetros a determinar, los cuales se pueden dividir en dos grupos según su naturaleza: Parámetros térmicos y eléctricos.

## 5.1- Parámetros Térmicos.

### ▪ Resistencias térmicas en el cable.

Estas resistencias corresponderán con  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ .

La resistencia térmica de cada una de las capas del cable depende de las dimensiones, diámetro exterior, espesor de la capa, y de la conductividad térmica del material.

Las resistencias térmicas de los materiales conductores serán prácticamente despreciables debido a su elevada conductividad térmica.

▪ Resistencia térmica externa.

La resistencia térmica externa del cable depende de la instalación donde se encuentre, de parámetros como la profundidad, la disposición de los cables y las propiedades del terreno.

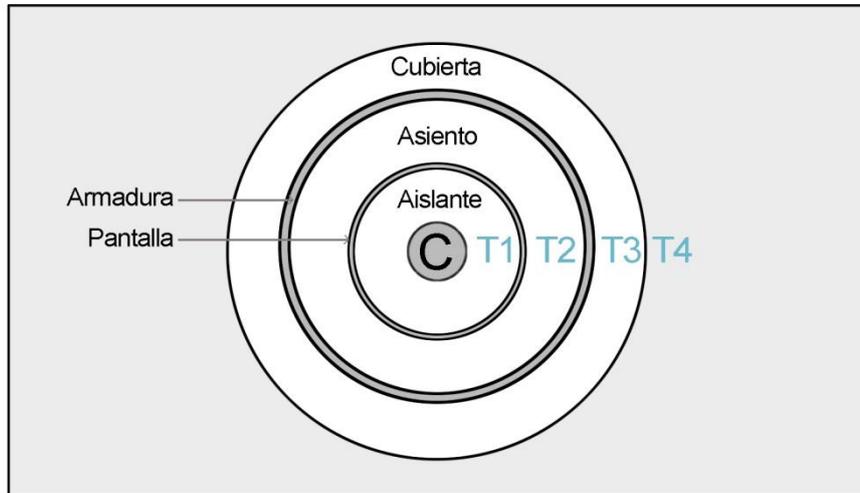


Figura [23]: Modelo esquemático de un conductor y la disposición de sus componentes con sus resistencias térmicas correspondientes

## 5.2- Parámetros Eléctricos.

Los parámetros eléctricos dependen entre otros del material, la configuración física (geometría del cable), modo de instalación (posición de este y de los cables adyacentes) y de las condiciones externas (temperatura ambiente, tensión de la red) y dan lugar a las siguientes pérdidas: Pérdidas en el conductor, Pérdidas dieléctricas, y Pérdidas en la pantalla. Estas se describen a continuación.

▪ Resistencia del conductor en función de la temperatura.  $R$  ( $\Omega/m$ )

A temperatura ambiente los iones de la red estructural de un conductor vibran alrededor de posiciones neutras. Los electrones libres se encuentran en movimiento aleatorio. Al someter el conductor a una diferencia de potencial los electrones se aceleran en una dirección chocando y rozando en su desplazamiento, frenando y acelerando, dando lugar a una pérdida de energía cinética que se disipa en forma de calor (Efecto joule).

Según aumenta la temperatura, las vibraciones del material aumentan, aumentando las colisiones y dificultando el desplazamiento de los electrones libres e incrementándose la energía liberada en forma de calor. Es decir, aumentando la resistencia del conductor según la ecuación:

$$R = R_1 [1 + \alpha_{T1} (\theta_1 - \theta_2)]$$

$\alpha_{T1}$  es el coeficiente de variación de la resistencia de un material con la temperatura.

$\theta_1, \theta_2$  Temperaturas inicial y final, respectivamente.

▪ Efecto piel o pelicular.  $y_s$

Considerando un cable formado por varios conductores, se tiene que al transportar una intensidad alterna se generan unas líneas de flujo alrededor de cada conductor, siendo los mas afectados por estas líneas los conductores del centro y menos los de la periferia.

Según Faraday, variación de la línea de flujos en un conductor, originadas por el resto de los conductores de alrededor originan unas fuerzas electromotrices que se opondrán al sentido natural de la corriente responsable de estas.

Esto se traduce en una pérdida de uniformidad de la densidad de corriente, concentrándola en la periferia, lo que sería similar a la perdida de la sección de cable, y su correspondiente aumento de la resistencia eléctrica.

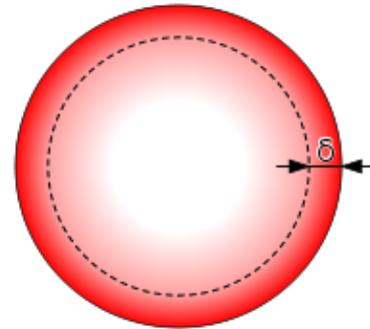


Figura [24]: Distribución del flujo de corriente en un conductor cilíndrico, que se muestra en sección transversal.

▪ Efecto proximidad.  $y_p$

Puede darse el caso de que otros cables externos cercanos generen efectos magnéticos que modifiquen la uniformidad de la densidad de corriente.

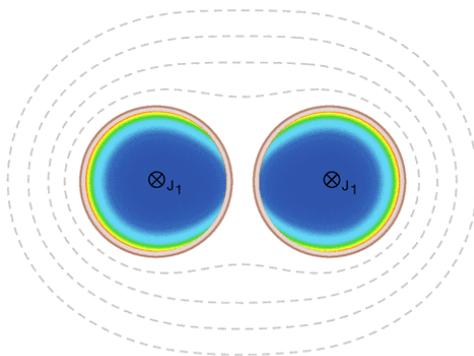


Figura [25]: Distribución de corriente no homogénea entre 2 conductores sencillos adyacentes (densidad de corriente decreciente del color azul al color rojo).

Por otro lado se produce también la atracción o repulsión de las cargas (conductores con cargas opuestas o del mismo signo) en ambos conductores, lo que genera una discontinuidad en el reparto interno de la densidad de corriente en los conductores.

Las configuraciones que sufren este efecto son las bipolares, tripolares y multipolares, o grupos de cables unipolares donde existe cercanía de conductores.

▪ Perdidas en el conductor:

Combinando los 3 efectos anteriores obtenemos como resultado que la resistencia del conductor, por unidad de longitud, en corriente alterna y a la temperatura máxima de servicio, viene dada por la fórmula:

$$R' = R(1 + y_s + y_p) \quad (\Omega/m)$$

Salvo en el caso de los cables en tubo de acero que sería:

$$R' = R(1 + 1.5(y_s + y_p)) \quad (\Omega/m)$$

▪ Perdidas dieléctricas:  $w_d$

Son debidas a 3 fenómenos:

- 1- Un rozamiento por la oscilación de cargas en los átomos del aislamiento debido al campo alterno originando calor.
- 2- Una corriente de fuga que provoca pérdidas reales que se disipan en forma de calor.
- 3- Un efecto capacitivo producido por un material aislante situado entre 2 capas conductoras (conductor y pantalla), entre las cuales existe una diferencia de tensión. Se genera entre ambas capas un campo eléctrico que produce fugas de energía en el material aislante en forma de calor.

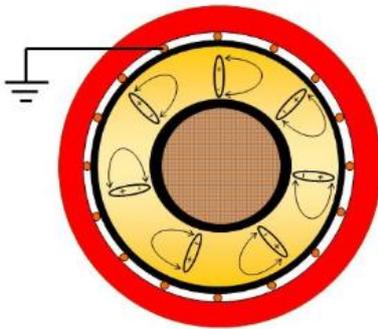


Figura [26]: Imagen correspondiente al Fenómeno 1

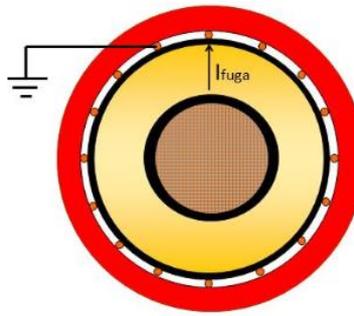


Figura [27]: Imagen correspondiente al Fenómeno 2

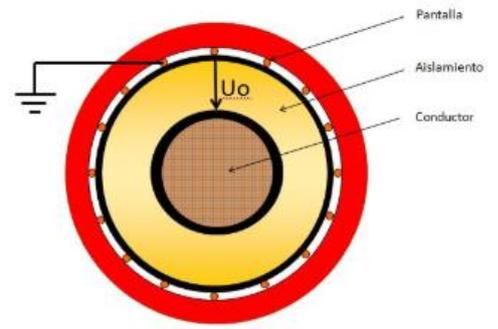


Figura [28]: Imagen correspondiente al Fenómeno 1

▪ Perdidas en la pantalla:  $\lambda_1$

Están formadas por:

Las pérdidas por corrientes circulantes  $\lambda_1'$

Las pérdidas por corrientes de Foucault  $\lambda_1''$

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$$

Dependiendo del tipo de conexión de la pantalla a tierra, predominarán unas u otras pérdidas:

- Conexión por ambos extremos: Predominan las corrientes circulantes, las corrientes de Foucault son despreciables.
- Conexión por un solo extremo: Predominan las corrientes de Foucault, las corrientes circulantes son despreciables.

- Perdidas por corrientes circulantes:

Al existir un circuito cerrado a través de las pantallas se produce un camino de retorno de la corriente inducida de otros cables de fase. Esta corriente provoca un efecto de calentamiento y un aumento de la temperatura en las cubiertas metálicas o armaduras de los cables.

- Perdidas por corrientes de Foucault:

Son bucles cerrados de corriente eléctrica inducida dentro de los conductores por un campo magnético variable en el conductor de acuerdo con la ley de inducción de Faraday. Pueden ser inducidas por el propio conductor y por los conductores próximos.

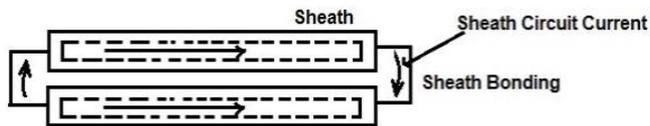


Figura [29]: Imagen explicativa correspondiente a las corrientes circulantes

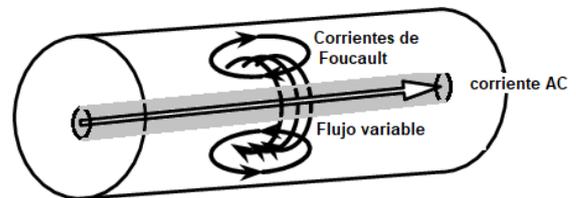


Figura [30]: Imagen explicativa correspondiente a las corrientes de Foucault.

## 6. PROGRAMA.

Es una herramienta cuya utilidad radica en el cálculo de la intensidad máxima admisible bajo diferentes tipos de instalación.

Debido a la amplitud de casos posibles y numerosas combinaciones entre ellas, se ha optado por limitar el número de opciones a los tipos de instalación más habituales y tomando una serie de condiciones generales, siendo posible la ampliación de este en un futuro para abarcar un mayor número de casos y condiciones.

- Consideraciones generales:

Cables unipolares.

Cables idénticos igualmente cargados para cada circuito.

Con pantalla o cubierta metálica común.

### 6.1 Herramientas:

Para la elaboración del programa se ha utilizado la herramienta de software matemático Matlab. Las razones que me han llevado a usar dicha herramienta son:

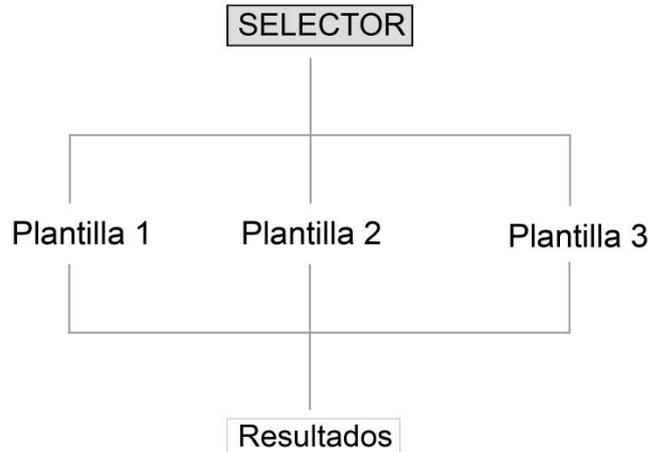
La universidad de Cantabria ofrece una licencia de Matlab de manera totalmente gratuita para instalar en los equipos particulares de profesores, alumnos e investigadores. Además, el contrato de la UC incluye cursos de formación y soporte en el uso de Matlab.

Es una herramienta que ya hemos utilizado previamente, a lo largo de mi paso por la universidad, lo cual me ha permitido tener ya unos conocimientos básicos sobre los que apoyarme para poder aprender, mejorar y desarrollar mi conocimiento.

Es un lenguaje de alto nivel diseñado especialmente para Ingenieros y científicos, lo que se traduce en facilidades para la introducción de funciones, un entorno de trabajo sencillo y documentación de fácil comprensión, todo ello combinado con una gran potencia para el cálculo técnico.

## 6.2 Interfaz gráfica de usuario:

El programa se compone de 4 interfaces gráficas diferentes que se disponen de la siguiente manera:



A continuación explicaremos cada una de las ventanas individualmente, concretando la función de cada una y como debe el usuario interactuar con estas.

### ▪ SELECTOR:

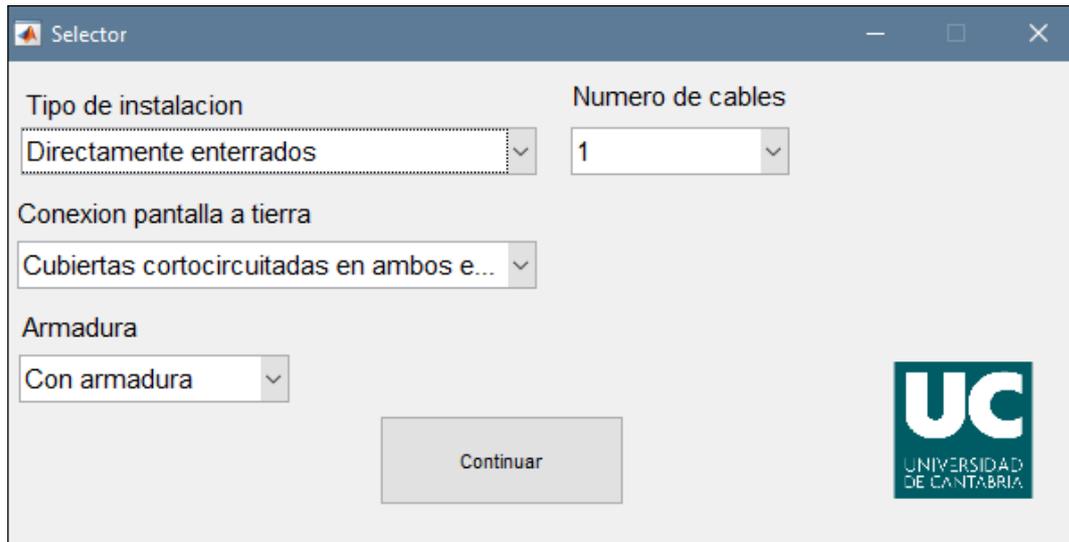
Es la primera página que nos muestra el programa tras la imagen de carga, consta de varios menús desplegables donde el usuario podrá seleccionar las condiciones que se ajusten a la instalación que desea calcular. Pudiendo elegir:

- El tipo de instalación.
- El número de cables.
- La disposición de los cables.
- El número de canalizaciones.
- El tipo de conexión de la pantalla a tierra.
- La existencia de armadura.

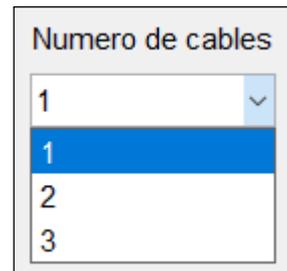
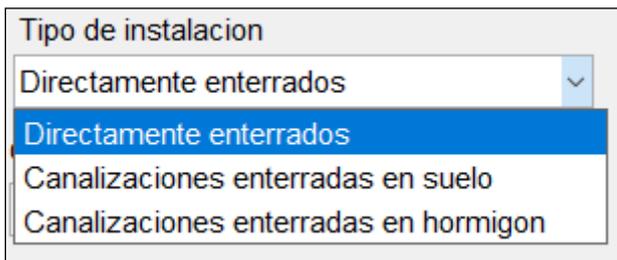
Estas elecciones son las que guían al programa para poder elegir los cálculos internos que debe hacer y cuáles son los datos que estos van a necesitar, y que posteriormente va a pedir a través de diferentes plantillas.

Además, estas selecciones serán restrictivas, es decir, según el elemento que elijamos aparecen o desaparecen opciones, evitando así posibles errores en el programa.

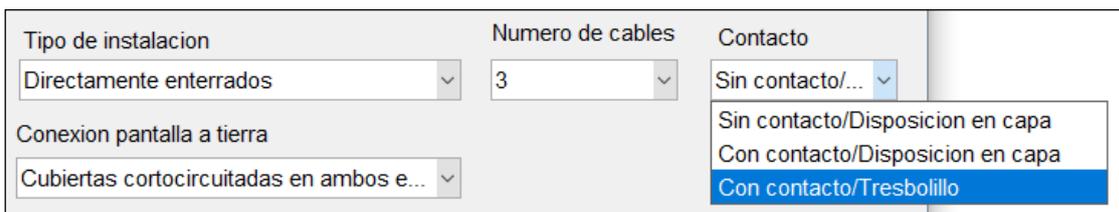
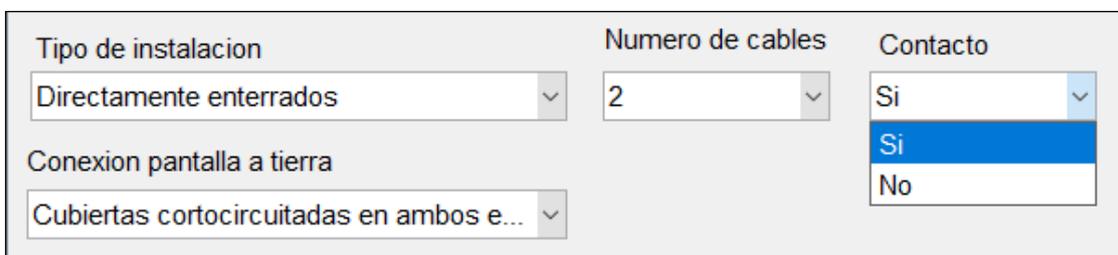
La imagen que inicialmente nos muestra el programa por defecto tras abrirse será:



Si pinchamos sobre un recuadro podremos ver las opciones que cada uno de ellos nos ofrece:



Como hemos mencionado anteriormente, los menús serán diferentes en función de las elecciones que tomamos, por ejemplo, si elegimos más de 1 cable en el caso de estar directamente enterrados, se nos mostrará lo siguiente en pantalla:



Si cambiamos de tipo de instalación, también cambiarán las opciones, a unas totalmente diferentes, pero que son las necesarias para esas condiciones, por ejemplo, en el caso de canalizaciones enterradas en el suelo o en hormigón:

Tipo de instalacion	Numero de cables	Numero de tubos
Canalizaciones enterradas en suelo	2	1
Conexion pantalla a tierra	1	
Cubiertas cortocircuitadas en ambos e...	2	
	3	

Tipo de instalacion	Numero de cables	Numero de tubos
Canalizaciones enterradas en hormigon	3	1
Conexion pantalla a tierra		1
Cubiertas cortocircuitadas en ambos e...		2
		3

El menú de tipo de conexión de la pantalla a tierra y la existencia de armadura son independientes del tipo de instalación como tal, y sus cálculos son independientes a estas, por lo que se mantendrán ofreciendo las mismas posibilidades para todos los casos

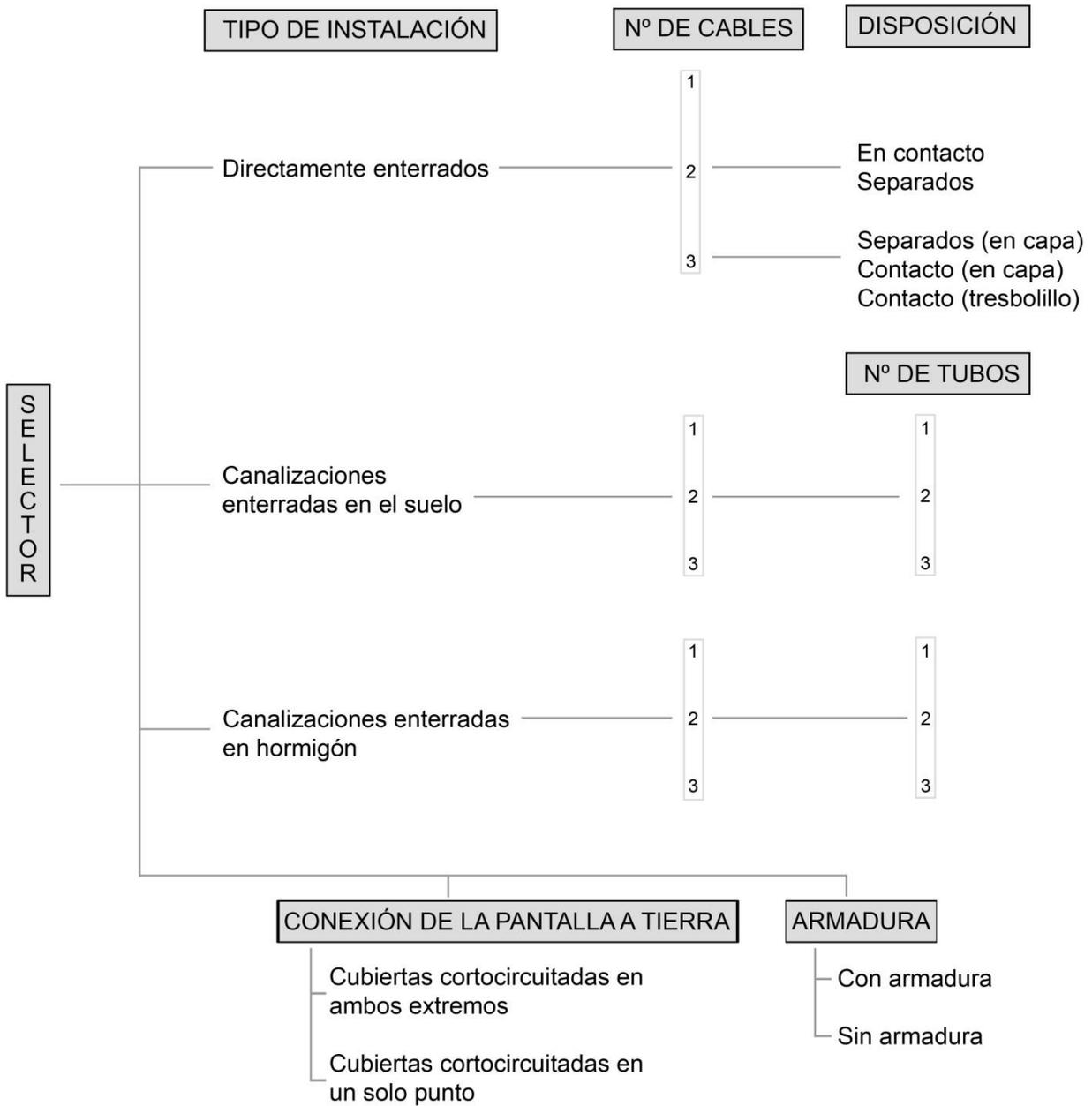
Para el tipo de conexión de pantalla sí es condición el número de cables, y el tipo de disposición, pero estas condiciones ya se asignan anteriormente. En el caso de canalizaciones se asume la colocación de las ternas en tresbolillo.

Podemos ver las opciones desplegadas:

Conexion pantalla a tierra
Cubiertas cortocircuitadas en ambos e...
<b>Cubiertas cortocircuitadas en ambos extremos</b>
Cubiertas cortocircuitadas en un solo punto

Armadura
Con armadura
Con armadura
<b>Sin armadura</b>

En el siguiente esquema podemos ver mejor la estructura interna de esta interfaz.



Finalmente pulsando el botón de continuar se aceptarán las condiciones anteriores y se pasará a la próxima interfaz gráfica.



▪ **PLANTILLAS:**

Esta interfaz es la que nos permite introducir las características de nuestra instalación, es decir, los datos que necesitamos previamente a los cálculos.

Las principales se obtienen de:

- Las características propias del cable.
- Las características del terreno.
- Profundidad de instalación.
- Temperaturas máximas, mínimas o reales.

La obtención de algunos de estos la hemos indicado en la sección de “puntos de partida”. Para otros serán necesarias mediciones reales, aproximaciones o datos previstos.

La aparición de unas u otras plantillas está condicionada a las elecciones realizadas previamente en el selector, ya que para diferentes opciones se llevan a cabo diferentes cálculos con diferentes fórmulas, y consecuentemente, serán necesarios diferentes datos.

Primeramente, se planteó realizar la generación procedural de las plantillas, de manera que la aparición de los datos surgiera según su necesidad, pero debido a la limitación del tiempo se han creado 3 plantillas estándar, que a pesar de ser menos dinámicas, son una solución válida, con la única diferencia de que, los datos que no sean necesarios, no serán tenidos en cuenta por el programa y el usuario podrá asignarles un valor 0.

Las plantillas disponibles son las siguientes:

- Plantilla 1

The screenshot shows a software window titled 'plantilla1' with a grid of input fields for technical parameters. The parameters and their values are as follows:

ro1-resistividad térmica del aislamiento (K × mW)	3.5	t1-espesor del aislamiento del conductor(mm).	5.5	dc-diámetro del conductor(mm).	14	tang-factor de pérdidas del aislamiento	0.004	tetha_a - temperatura ambiente (°C)	20
ro2-resistividad térmica del asiento armadura (K × mW)	3.5	t2-espesor del asiento de la armadura(mm).	2	di-es el diámetro exterior del aislamiento (con exclusión de la pantalla) (mm)	26.1	e-permitividad relativa del aislamiento	2.5	tetha_x-temperatura crítica del terreno y temperatura de la frontera entre las zonas húmeda y seca (°C)	60
ro3-resistividad térmica de la cubierta exterior (K × mW)	3.5	t3-espesor del revestimiento exterior(mm).	2.5	ds -diámetro exterior de la cubierta o pantalla(mm).	34	R20-resistencia del conductor a 20 °C (ohm/m)	0.206e-3	OK	
ro4-resistividad térmica del suelo. (K × mW)	1.5	l-profundidad de enterramiento(mm)	3000	da-diámetro exterior de la armadura(mm).	34	alpha20-es el coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad en función de la temperatura	0.004		
rod-resistividad térmica del suelo seco. (K × mW)	1.5	s1-es la distancia entre ejes de dos cables adyacentes	36	de-diámetro exterior del cable(mm).	34	R20p-valor de resistividad del material de la pantalla 20°C	0.0011	tablas      Esquema	
row-resistividad térmica del suelo húmedo. (K × mW)	1	Uo-tensión con relación a tierra (V).	12000	coeficiente efecto piel - Ks	1	alpha20p-coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad de la pantalla en función de la temperatura	0.004		
ros-resistividad eléctrica del material que constituye la cubierta metálica a la temperatura de servicio. (K × mW)	0	f-frecuencia	50	coeficiente efecto proximidad - kp	0.8	tetha-temperatura máxima de servicio(°C)	90		

- Plantilla 2.

plantilla2

ro1-resistividad térmica del aislamiento (K x mW)	3.5	t1-espesor del aislamiento del conductor(mm).	5.5	dc-diámetro del conductor(mm).	14	tang-factor de pérdidas del aislamiento	0.004	tetha-temperatura máxima de servicio	90	tablas
ro2-resistividad térmica del asiento armadura (K x mW)	0	t2-espesor del asiento de la armadura(mm).	0	di-es el diámetro exterior del aislamiento (con exclusión de la pantalla) (mm)	26.1	e-permitividad relativa del aislamiento	2.5	tetha_a - temperatura ambiente (°C)	20	esquema
ro3-resistividad térmica de la cubierta exterior (K x mW)	3.5	t3-espesor del revestimiento exterior(mm).	2.5	ds -diámetro exterior de la cubierta o pantalla(mm).	34	R20-resistencia del conductor a 20 °C (ohm/m)	0.206e-3	tetha_x-temperatura crítica del terreno y temperatura de la frontera entre las zonas húmeda y seca (°C)	60	
ro4-resistividad térmica del suelo (K x mW)	1.5	l-profundidad de enterramiento (mm)	3000	da-diámetro exterior de la armadura(mm).	34	alpha20-es el coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad en función de la temperatura	0.004	tetha_m-Tmedia del medio que rellena el espacio entre cable y conductor(°C)	65	
rod-resistividad térmica del suelo seco. (K x mW)	1.5	s1-es la distancia entre ejes de dos cables adyacentes (mm)	34	de-diámetro exterior del cable(mm).	34	R20p-valor de resistividad del material de la pantalla 20°C (ohm/m)	0.0011	U	1.87	
row-resistividad térmica del suelo húmedo. (K x mW)	1	s2-es la distancia entre ejes de dos canalizaciones/tubos (mm)	210	do-el diámetro exterior del conducto/tubo (mm)	160	alpha20p-coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad de la pantalla en función de la temperatura	0.004	V	0.312	
roTubo-resistividad térmica del tubo (K x mW)	3.5	Uo-tensión con relación a tierra (V).	12000	dd-diámetro interior del conducto/tubo (mm)	156	Ks-coeficiente efecto piel	1	Y	0.0037	
ros-resistividad eléctrica del material que constituye la cubierta metálica a la temperatura de servicio.	0	f-frecuencia (Hz)	50			Kp-coeficiente efecto proximidad	0.8			OK

UC UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

- Plantilla 3.

plantilla3

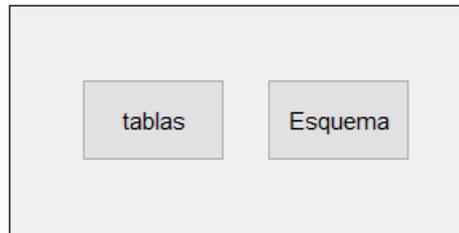
ro1-resistividad térmica del aislamiento (K x mW)	3.5	t1-espesor del aislamiento del conductor(mm).	5.5	dc-diámetro del conductor(mm).	14	tang-factor de pérdidas del aislamiento	0.004	tetha-temperatura máxima de servicio (°C)	90	lg-profundidad de colocación, respecto al centro del bloque de conductos(mm)	3200
ro2-resistividad térmica del asiento armadura (K x mW)	0	t2-espesor del asiento de la armadura(mm).	0	di-es el diámetro exterior del aislamiento (con exclusión de la pantalla) (mm)	26.1	e-permitividad relativa del aislamiento	2.5	tetha_a - temperatura ambiente (°C)	20	x-menor dimension del bloque de conductos (mm)	800
ro3-resistividad térmica de la cubierta exterior (K x mW)	3.5	t3-espesor del revestimiento exterior(mm).	2.5	ds -diámetro exterior de la cubierta o pantalla(mm).	34	R20-resistencia del conductor a 20 °C (ohm/m)	0.206e-3	tetha_x-temperatura crítica del terreno y temperatura de la frontera entre las zonas húmeda y seca (°C)	60	y-mayor dimension del bloque de conductos (mm)	620
ro4-la resistividad térmica del suelo	1.5	l-profundidad de enterramiento (mm)	3000	da-diámetro exterior de la armadura(mm).	34	alpha20-es el coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad en función de la temperatura	0.004	tetha_m-Tmedia del medio que rellena el espacio entre cable y conductor(°C)	65	N-numero de canalizaciones en el bloque de hormigon	1
rod-resistividad térmica del suelo seco. (K x mW)	1.5	s1-es la distancia entre ejes de dos cables adyacentes (mm)	36	de-diámetro exterior del cable(mm).	34	R20p-valor de resistividad del material de la pantalla 20°C (ohm/m)	0.0011	U	1.87		
row-resistividad térmica del suelo húmedo. (K x mW)	1	s2-es la distancia entre ejes de dos canalizaciones/tubos	210	do-diámetro exterior del conducto/tubo (mm)	160	alpha20p-coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad de la pantalla en función de la temperatura	0.004	V	0.312		
roTubo-resistividad térmica del tubo.	3.5	Uo-tensión con relación a tierra (V).	12000	dd-diámetro interior del conducto/tubo (mm)	156	Ks-coeficiente efecto piel	1	Y	0.0037		
roh-resistividad térmica del hormigon	0.8	f-frecuencia (Hz)	50			Kp-coeficiente efecto proximidad	0.8			tablas	Esquema
ros-resistividad eléctrica del material que constituye la cubierta metálica a la temperatura de servicio. (K x mW)	0										

UC UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Estos paneles constan de unos cuadros de inserción de números, aquí es donde asignaremos los valores a cada una de las variables. Cada uno de estos va acompañado de su correspondiente texto indicando la variable requerida y las unidades en las que debe introducirse. Por ejemplo:

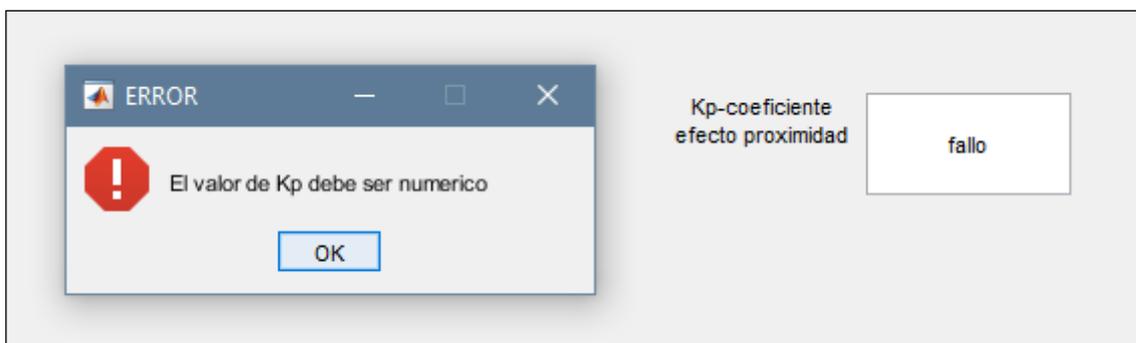
ro1-resistividad térmica del aislamiento (K × m/W)	<input type="text" value="3.5"/>	t1-espesor del aislamiento del conductor(mm).	<input type="text" value="5.5"/>	dc-diámetro del conductor(mm).	<input type="text" value="14"/>
ro2-resistividad térmica del asiento armadura (K × m/W)	<input type="text" value="0"/>	t2-espesor del asiento de la armadura(mm).	<input type="text" value="0"/>	di-es el diámetro exterior del aislamiento (con exclusión de la pantalla) (mm)	<input type="text" value="26.1"/>

Para ayudar al usuario, se han introducido los siguientes botones en todas las plantillas:



- Tablas: Abre un pdf con las tablas proporcionadas por las normas IEC 60287 \_2\_1 y IEC 60287 \_1\_1. Que son algunas de las mostradas en la sección de “puntos de partida”.
- Esquema: Abre un pdf con una guía visual que sirve de ayuda para identificar o concretar el origen de algunos datos en caso de duda.

Además, para asegurarnos el buen funcionamiento del programa hemos añadido la condición restrictiva de que si se detecta que alguno de los parámetros introducidos no es numérico, se despliega un mensaje de texto, indicándonos que hay un error en la inserción de datos y que dato es el incorrecto. El programa no nos dejará aceptar los datos hasta que se solucione el error.



Una vez introducidos los datos correctamente, pulsaremos el botón de OK, esto nos llevará a la última interfaz.

▪ **RESULTADOS:**

Los resultados de los cálculos se mostrarán en el siguiente panel, dándose los valores de las resistencias térmicas (T1, T2, T3 y T4), las pérdidas dieléctricas (Wd), la resistencia eléctrica del conductor a T<sup>0</sup> máxima de operación (R) y las pérdidas en la cubierta metálica ( $\lambda_1$ ). Siendo estos los parámetros principales de las ecuaciones [1] y [2]. Profundizaremos en ellos un poco más en el apartado de resultados explicándolos y analizándolos para diferentes casos.

Seguidamente se muestran los resultados del cálculo final:

I1: La intensidad de corriente admisible de cables enterrados donde la desecación del suelo no existe

I2: La intensidad de corriente admisible de cables enterrados donde se produce un secado parcial del suelo.

The screenshot shows a window titled 'Resultados' with the following data:

T1 - Resistencia térmica entre conductor y envolvente :	0.32298	K·m/W
T2 - Resistencia térmica entre envolvente y armadura :	0	K·m/W
T3 - Resistencia térmica del revestimiento exterior :	0.076427	K·m/W
T4 - Resistencia térmica del medio exterior :	1.4005	K·m/W
Wd - Pérdidas dieléctricas por unidad de longitud y fase :	0.040349	W/m
R - Resistencia eléctrica del conductor a T <sup>a</sup> max :	0.00026399	$\Omega$ /m
$\lambda_1$ - Pérdidas en la cubierta metálica respecto a las totales :	0.005098	

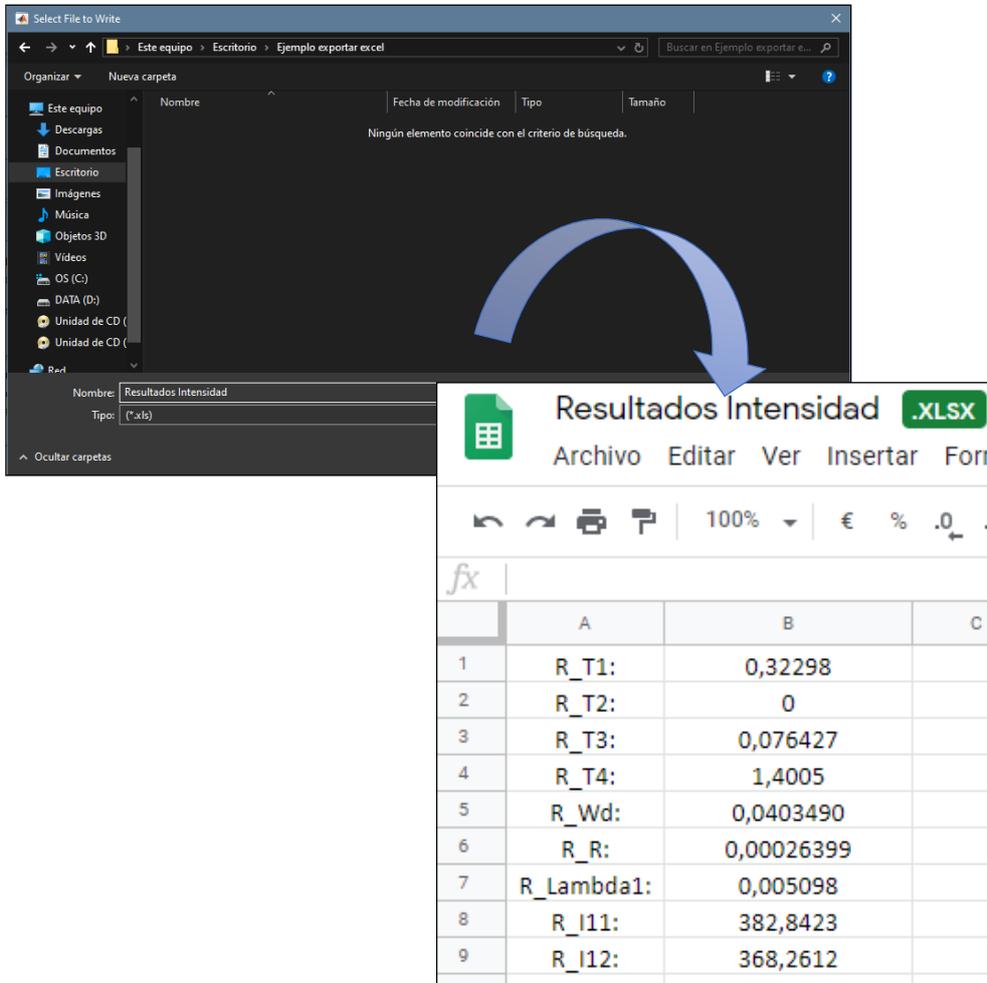
Below the table, the calculated current intensities are shown:

- I1 - Intensidad calculada para cables enterrados donde no se seca el suelo:  
382.8423 A
- I2 - Intensidad calculada para cables donde se produce un secado parcial del suelo:  
368.2612 A

At the bottom of the window, there is a button labeled 'Exportar a Excel' and the logo of the University of Cantabria (UC).

Por ultimo hemos añadido la opción de exportar los datos en un archivo .xsl, ya que hemos considerado que sería el formato más común para este fin.

Al pinchar en el botón de “Exportar a Excel” se nos abre la posibilidad de guardarlo en la ubicación que nosotros deseemos.



## 6.3 Arquitectura del programa:

En esta sección explicaremos la parte del programa correspondiente al funcionamiento interno del mismo, dividiéndolo en 2 subsecciones, una “5.4.1” donde explicaremos elementos del código y la 5.4.2 donde explicamos detalladamente el código y su estructura en el programa.

### 6.3.1 Elementos del programa.

- Guide: Interfaz de usuario

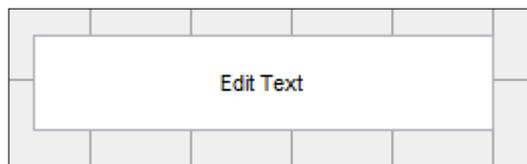
Para la realización de la interfaz de usuario de la aplicación se ha utilizado el entorno de programación gráfico de Matlab GUIDE.

Este entorno cuenta con un editor gráfico que nos permite crear y modificar de forma sencilla los distintos componentes de la interfaz gráfica, además de, a través de las diversas funciones proporcionadas por esta herramienta, realizar la programación de dichos componentes.

A continuación, se detallan los elementos gráficos principales de GUIDE que se han utilizado en la construcción de la aplicación.

- Edit Text:

Este elemento consiste en un cuadro de texto que nos permite tanto mostrar cómo escribir texto en su interior.



Para llevar a cabo la lectura del texto escrito dentro del Edit Text, tendremos que hacer uso de la función `get` de GUIDE para obtener el valor de la propiedad “string” del control indicado, por ejemplo, para leer el valor escrito en un Edit Text denominado “prueba”, usaríamos la función de la siguiente manera:

```
texto = get(handles.prueba, 'string')
```

- Static Text:

-Este elemento es simplemente un texto estático, cuyo contenido no puede ser modificado por el usuario de la aplicación, sino que debe ser establecido durante la creación de la

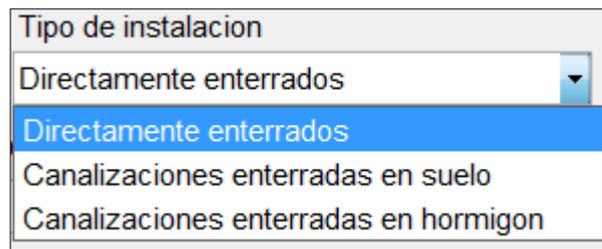
misma, o bien durante su ejecución, utilizando la función set para cambiar el valor de su propiedad “string”.

Por ejemplo, si quisiéramos mostrar el texto “Hola” en un static text denominado “prueba”, lo haríamos de la manera siguiente:

```
set(handles.prueba, 'string', 'Hola')
```

▫ PopUpMenu:

Este control consiste en un menú desplegable en el que se pueden mostrar varias opciones, y que permite al usuario seleccionar cualquiera de ellas.



En este caso, para obtener la opción seleccionada en el control no basta con obtener el valor de la propiedad “string”, pues eso nos devuelve únicamente una lista con todas las opciones. Para obtener el valor seleccionado, en primer lugar debemos obtener el valor de la propiedad “value”, que nos devuelve la posición correspondiente a la opción seleccionada en el control, después obtenemos la lista de opciones del control, con la propiedad “string”, y por último, obtenemos el elemento de la lista de opciones que se encuentre en esa posición.

A continuación, se muestra un ejemplo de este funcionamiento:

```
idx = get(handles.pop_enterramiento, 'Value');
items = get(handles.pop_enterramiento, 'String');
selectedItem = items[idx];
```

▫ PushButton:

Este control consiste en un botón, al cual podemos asignar el texto que queremos, y que al ser pulsado ejecuta una función callback asociada a él.



A continuación, se muestra un ejemplo del uso de la función callback de un pushbutton para abrir un formulario denominado “prueba”.

```
function btContinuar_Callback(hObject, eventdata, handles)
    prueba
end
```

- Conceptos de la programación:

Para la realización del programa, ha sido necesaria la utilización de diversas sentencias que modifican el flujo de este. Detallamos el funcionamiento:

- Sentencia IF-ELSE

La sentencia de control condicional IF es una sentencia que evalúa la condición lógica que se le indique, y ejecutara el código situado dentro del bloque IF en caso de evaluarse como verdadera, o el código del bloque ELSE en caso de evaluarse como falsa.

Ejemplo que evalúa si el valor de una variable 'n' es mayor que 0:

```
if n > 0
    disp('Es mayor')
else
    dis('Es menor')
end
```

- Sentencia SWITCH-CASE

-Esta sentencia obtiene el valor de una variable que se le indique, y ejecuta el código situado en el case que corresponda al valor de dicha variable.

A continuación se muestra un ejemplo del uso de esta sentencia:

```
switch n
    case 1
        disp('n es 1')

    case 3
        disp('n es 3')

    case 7
        disp('n es 7')
end
```

▫ Bucle FOR

El bucle For es una estructura de control que sirve para ejecutar el código contenido dentro del bucle un número determinado de veces.

Este bucle cuenta con una variable de control, a la que se asigna un valor inicial, y cuyo valor va aumentando hasta llegar al valor especificado.

A continuación, se muestra un ejemplo de bucle For que muestra por pantalla los números del 1 al 10:

```
for i = 1:10
    disp(i)
end
```

• Archivos principales:

▫ scripts de fórmulas: Se ha creado una script con el conjunto de fórmulas que se van a utilizar para realizar los cálculos, este archivo es el primero que se ejecuta. Más adelante serán los cálculos los que utilicen o no las fórmulas en función de las selecciones para lo que se desea calcular.

▫ scripts de cálculos: se han creado diferentes scripts con los cálculos correspondientes a cada caso. A cada script de cálculo se le ha asignado un código al final de su nombre que en el programa se utilizará para asociarlos a las opciones del selector.

## 6.4.2 Arquitectura interna.

Vamos a explicar la programación de cada uno de los archivos principales en orden de ejecución de estos.

- Archivo selectorinicio.m :

En cuanto a la interfaz gráfica, para el selector inicial que es donde elegimos las condiciones de nuestra instalación a calcular, se ha creado una ventana que contiene 7 pop-menus, a los cuales nos referiremos a partir de ahora como “selectores de condiciones”.

Cada uno de ellos tiene sobre él un texto, implementado mediante un static text, que indica su función.

Las diferentes elecciones nos hacen visibles nuevas opciones de selección, que se encontraban ocultas hasta ese momento.

Para entender como se ha realizado, vamos a explicar el funcionamiento interno de uno de los selectores, concretamente el de “tipo de instalación”.

En el siguiente bloque de código creamos la variable “idx” que contiene el valor de la posición seleccionada en el popmenu del tipo de instalación, llamado pop\_enterramiento. La variable “items” recoge una lista con los textos de las opciones contenidas en el popmenu y “selectedItem” coge el texto que está en la posición indicada por “idx” dentro de la lista.

```
idx = get(handles.pop_enterramiento, 'Value');
items = get(handles.pop_enterramiento, 'String');
selectedItem = items{idx};
```

En las siguientes líneas de código, comprobamos cual es el valor de la variable “selectedItem” y si se corresponde con alguno de los textos indicados literalmente.

Si eso sucede, mediante la función set hacemos visibles los popmenus correspondientes y ocultamos los que no sean necesarios.

```
if(strcmp(selectedItem, 'Canalizaciones enterradas en suelo') ...
    ||strcmp(selectedItem, 'Canalizaciones enterradas en hormigon'))
    set(handles.pop_num_tubos, 'visible', true);
    set(handles.txt_num_tubos, 'visible', true);
    idx = get(handles.pop_num_cables, 'Value');
    items = get(handles.pop_num_cables, 'String');
    selectedItem = items{idx};
    if(strcmp(selectedItem, '2') || strcmp(selectedItem, '3'))
        set(handles.txt_contacto, 'visible', false);
        set(handles.pop_contacto_2_cables, 'visible', false);
        set(handles.pop_contacto_3_cables, 'visible', false);
    end
```

Para aceptar las condiciones introducidas en los selectores, se ha añadido un botón, implementado mediante un pushbutton con el texto “continuar”.

Al ser pulsado, comprueba dichas condiciones y muestra al usuario la pantalla correspondiente a estas.

En el siguiente bloque asociado al pushbutton “continuar” obtenemos una lista con todos los popupmenu de la interfaz.

En la variable “opcionesSeleccionadas” creamos una lista con 7 unos.

Hacemos un bucle for para recorrer la lista de los popupmenu recogidos, y de cada popmenu obtenemos la posición de la opción seleccionada (que es un numero) y guardándolo dentro de la variable “opcionesSeleccionadas”.

```

popmenus = findobj(gcf,'Style','popupmenu');
opcionesSeleccionadas = [1,1,1,1,1,1,1];
for i=1:7
    menu = popmenus(i);
    if strcmp(get(menu,'visible'),'on')
        idx = get(menu,'Value');
        opcionesSeleccionadas(i) = idx;
    else
        opcionesSeleccionadas(i) = 1;
    end
end

```

El orden en el que se guardan las opciones es el siguiente:

“contacto3cables, nº tubos, contacto2cables, conexión pantalla, nº cables, armadura, tipo de instalación”

Por ejemplo, si hemos elegido la siguiente opción en el selector:

Canalizaciones enterradas en hormigón, 3 cables, 3 tubos, con armadura, cubiertas cortocircuitadas en ambos extremos.

El valor de la variable “opcionesSeleccionadas” será:

(1,3,1,1,3,1,3).

A continuación, con la función num2str convertimos todos los valores de “opcionesSeleccionadas” de numero a texto y mediante la función strcat los concatenamos con lo que obtendremos un código, que siguiendo el ejemplo anterior será:

1311313.

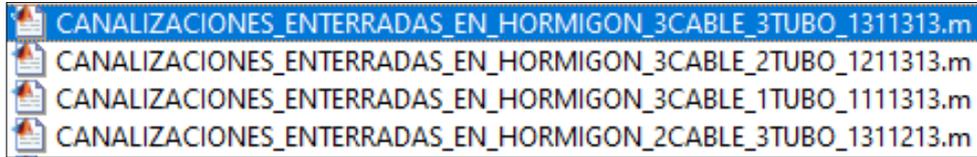
```

laOpcion = strcat(num2str(opcionesSeleccionadas(1)),num2str(opcionesSeleccionadas(2)),...
num2str(opcionesSeleccionadas(3)),'1',num2str(opcionesSeleccionadas(5)),...
'1',num2str(opcionesSeleccionadas(7)))
file = dir(strcat('*',laOpcion,'.m'));
ficheroCompleto = fullfile(file.folder,file.name);

```

Utilizando este código, obtenemos el script de los cálculos correspondientes a esas opciones.

Es decir, obtendremos la ruta del archivo cuyo nombre termina en 1311313.m



Mediante la sentencia switch comprobamos el valor de la opción seleccionada en el popmenu del tipo de instalación (con el tag tipo\_enterramiento).

Si el valor es 1 – Directamente enterrados, se muestra la plantilla 1.

Si el valor es 2 – Canalizaciones enterradas en el suelo, se muestra la plantilla 2.

Si el valor es 3 – Canalizaciones enterradas en hormigón, se muestra la plantilla 3.

```
switch(tipo_enterramiento)
    case 1
        run(fullfile(file.folder, 'plantilla1.m'))
    case 2
        run(fullfile(file.folder, 'plantilla2.m'))
    case 3
        run(fullfile(file.folder, 'plantilla3.m'))
end
```

• Archivo Plantilla (1,2 y 3) .m:

La plantilla se compone de un conjunto de Edit Text, cuyo número cambiará según el número de variables que necesiten los cálculos a realizar por el programa y un pussbutton denominado “Calcular”.

En el momento que pulsamos el botón se obtiene el valor de cada uno de los datos introducidos en la plantilla por el usuario, extrayéndolos de cada uno de los Edit Text, comprobando si es un numero válido y sino, mostrando un mensaje de error y deteniendo la ejecución.

Esto se hace de la siguiente manera:

```
Uo=str2double(get(handles.edit_Uo, 'string'));
if isnan(Uo)==1;
    errordlg('El valor de Uo debe ser numerico', 'ERROR')
return
end
```

En este caso estaríamos obteniendo el valor de la variable Uo, que corresponde en la plantilla a la tensión respecto a tierra.

Por otro lado, ejecuta el script “FORMULAS”, “CALCULOSGENERALES” explicadas anteriormente, y obtiene la opción elegida en el selector para la armadura y en función de la opción, mediante una sentencia if, realiza unos u otros cálculos.

```
FORMULAS
CALCULOSGENERALES
ventana_selector = findobj('Tag','selectorInicio');
lasOpciones = getappdata(ventana_selector,'lasOpciones');
laarmadura = getappdata(ventana_selector,'armadura')

if laarmadura == '1'
    R_T2=RT2_1(ro2,t2,ds)
else
    R_T2=0;
end
```

Seguidamente recuperamos el archivo que habíamos obtenido anteriormente, que se correspondía a la script de los cálculos que dependían de las opciones seleccionadas en el selector, y que, como hemos mencionado anteriormente, tienen un código asociado.

```
fichero_calculos = getappdata(ventana_selector,'tipo_calculo')
run(fichero_calculos)
```

Finalmente, a partir de la opción elegida para la pantalla, mediante otra serie de sentencias if, realizamos los cálculos correspondientes a dicha opción y por último ejecutamos el script “CALCULOINTENSIDADES”

- Archivo Resultados.m:

En este punto obtenemos los resultados y los mostramos en la pantalla mediante static text, de la siguiente manera:

```
Resultados(R_T1,R_T2,R_T3,R_T4,R_Wd,R_R,R_Lambda1,R_I11,R_I12)
```

```
set(handles.txtR_T1,'string',num2str(R_T1));
set(handles.txtR_T2,'string',num2str(R_T2));
set(handles.txtR_T3,'string',num2str(R_T3));
set(handles.txtR_T4,'string',num2str(R_T4));
set(handles.txtR_Wd,'string',num2str(R_Wd));
set(handles.txtR_R,'string',num2str(R_R));
set(handles.txtR_Lambda1,'string',num2str(R_Lambda1));
set(handles.txtR_I11,'string',num2str(R_I11));
set(handles.txtR_I12,'string',num2str(R_I12));
```

## 7. RESULTADOS.

Igual de importante es el buen funcionamiento del programa como una obtención de los resultados lógicos del mismo. Para ello vamos a analizar y hacer una comparativa de los resultados de diferentes casos, procurando mantener siempre la misma tipología de cable y los mismos puntos de partida, variando los datos entre diferentes casos, solo cuando es estrictamente necesario para la lógica del cálculo, o porque se vayan a comparar las diversas soluciones a los datos insertados.

Es necesario resaltar el hecho de que los valores son solo orientativos y no están ajustados a parámetros reales, por lo que, los resultados obtenidos se analizarán e interpretarán teniendo en cuenta la lógica del programa, dejando margen siempre al error que provocan unos datos supuestos.

Los valores utilizados en cada caso serán siempre los indicados a continuación y en caso de que sean diferentes se puntualizará.

### • Resistividades

ro1 - resistividad térmica del aislamiento (K x m/W)	3.5
ro2 - resistividad térmica del asiento armadura (K x m/W)	0
ro1 - resistividad térmica de la cubierta exterior (K x m/W)	3.5
ro4 - la resistividad térmica del suelo	1.5
rod - resistividad térmica del suelo seco (K x m/W)	1.5
row - resistividad térmica del suelo húmedo (K x m/W)	1
roTubo - resistividad térmica del tubo.	3.5
roh - resistividad térmica del hormigón	0.8
ros - resistividad eléctrica del material que constituye la cubierta metálica a la temperatura de servicio. (K x m/W)	0

• Diámetro del cable.

dc - diámetro del conductor (mm).	14
di - es el diámetro exterior del aislamiento (con exclusión de la pantalla) (mm)	26.1
ds - diámetro exterior de la cubierta o pantalla (mm).	34
da - diámetro exterior de la armadura (mm).	34
de - diámetro exterior del cable (mm).	34
do - diámetro exterior del conducto/tubo (mm)	160
dd - diámetro interior del conducto/tubo (mm)	156

• Espesor.

t1 - espesor del aislamiento del conductor (mm).	5.5
t2 - espesor del asiento de la armadura (mm).	0
t3 - espesor del revestimiento exterior (mm).	2.5

• Temperaturas.

tetha - temperatura máxima de servicio (°C)	90
tetha_a - temperatura ambiente (°C)	20
tetha_x - temperatura crítica del terreno y temperatura de la frontera entre las zonas húmeda y seca (°C)	60
tetha_m - T°media del medio que rellena el espacio entre cable y conducto (°C)	65

• Datos de la línea subterránea:

Uo - tensión con relación a tierra (V)	12000
f - frecuencia (Hz)	50
l - profundidad de enterramiento. (mm)	3000
s1 - es la distancia entre ejes de dos cables adyacentes (mm)	36
s2 - es la distancia entre ejes de dos canalizaciones/tubos (mm)	210

- Para los cálculos Resistividad a T<sup>0</sup> máxima.

R20 - resistividad del conductor a 20 °C (ohm/m) 0.00206

alpha20 - es el coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad en función de la temperatura 0.004

R20p - valor de resistividad del material de la pantalla 20°C (ohm/m) 0.0011

alpha20 - es el coeficiente de variación a 20 °C de la resistividad de la pantalla en función de la temperatura 0.004

- Para los cálculos de las pérdidas.

tang - factor de pérdidas del aislamiento 0.004

e - permitividad relativa del aislamiento 2.5

Ks - coeficiente efecto piel 1

Kp - coeficiente efecto proximidad 0.8

- Para los cálculos de canalizaciones en suelo.

U – Parámetros de la formula. Tablas. 1.87

V – Parámetros de la formula. Tablas. 0.312

Y – Parámetros de la formula. Tablas. 0.0037

- Para los cálculos de canalizaciones en hormigón.

lg - profundidad respecto al centro del bloque de conductos (mm) 3200

x - menor dimensión del bloque de conductos (mm) 800

y - mayor dimensión del bloque de conductos (mm) 620

N - número de canalizaciones en el bloque de hormigón 1

Establecidos los valores que se han insertado a las variables en el programa, procedemos a obtener los resultados de este y analizarlos uno a uno.

Los parámetros a estudiar son los siguientes:

- T1: Resistencia térmica por fase entre conductor y envolvente (K·m/W)
- T2: Resistencia térmica entre envolvente y armadura (K·m/W)
- T3: Resistencia térmica del revestimiento exterior (K·m/W)
- T4: Resistencia térmica del medio exterior (relación entre el calentamiento de la superficie del cable por encima del ambiente y las pérdidas totales por unidad de longitud) (K·m/W)
- Wd: Pérdidas dieléctricas por unidad de longitud y por fase (W/m)
- $\lambda_1$  : Relación de las pérdidas en la cubierta metálica o pantalla con respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de ese cable.
- R: resistencia eléctrica de un conductor en corriente alterna a su temperatura máxima de servicio ( $\Omega/m$ );
- Ys: Factor del efecto piel.
- Yp: Factor del efecto proximidad.
- I1: La intensidad de corriente admisible de cables enterrados donde la desecación del suelo no existe
- I2: La intensidad de corriente admisible de cables enterrados donde se produce un secado parcial del suelo.

Cabe destacar que en el caso de existir varios cables en la instalación, tenemos que considerar a cada uno de ellos como una fuente de calor.

El cable a estudiar experimenta un incremento en la temperatura originado por la presencia de otros cables.

Este efecto se representa mediante valores corregidos de T4, y así no variar  $\Delta\theta$ .

► Comparación entre:

- 1 cable directamente enterrado sin armadura.
- 1 cable directamente enterrado con armadura.

	T1	T2	T3	T4	Wd	R	Ys	Yp	$\lambda_1$
<b>Sin armadura</b>	0.3230	0	0.0764	1.4005	0.0403	2.6399e-04	0.0012	0	0.0051
<b>Con armadura</b>	0.3230	0.0620	0.0764	1.4005	0.0403	2.6399e-04	0.0012	0	0.0051

I1	I2
382.8423	368.2612
376.4060	363.7732

T1, T2 y T3 se consideran capas concéntricas que se representan en el modelo térmico como una resistencia, al añadir una capa más lo que estamos es añadiendo un elemento más que impide la dispersión del calor y por tanto se reduce la intensidad máxima admisible.

► Comparación de:

- La intensidad de 1 cable directamente enterrado sin armadura a distintas profundidades de instalación.

profundidad	I1	I2
<b>I-1000</b>	410.8460	397.6827
<b>I-2000</b>	390.2533	376.0397
<b>I-3000</b>	379.5535	364.9073

La resistencia térmica del terreno T4 se corresponde a la oposición que presenta el terreno al traspaso de calor, entre la fuente caliente, que es el cable y la superficie del terreno. Una mayor profundidad supone una mayor oposición, que se traduce en la reducción de la intensidad máxima admisible.

► Comparación entre:

- 1 cable directamente enterrado
- 2 cables, distanciados 60mm entre sí
- 2 cables en contacto.

Todos ellos con las cubiertas en cortocircuito en ambos extremos y sin armadura

	T1	T2	T3	T4	Wd	R	Ys	Yp	$\lambda_1$
<b>1 cable</b>	0.3230	0	0.0764	1.4005	0.0403	2.6399e-04	0.0012	0	0.0051
<b>2cables-no contacto</b>	0.3230	0	0.0764	2.4999	0.0403	2.6402e-04	0.0012	1.1946e-04	0.0168
<b>2cable-si contacto</b>	0.3230	0	0.0764	2.5856	0.0403	2.6409e-04	0.0012	3.7203e-04	0.0060

Se produce un aumento de la resistividad térmica externa, como ya hemos dicho, debido a el factor de corrección que añade a las T4 otras fuentes de calor externas, como son los cables adyacentes, el efecto se intensifica cuando mayor es la cercanía de la fuente.

El efecto de las pérdidas por proximidad se intensifica al aumentar el número y la cercanía y de los cables.

Las pérdidas en la pantalla aparecen en el momento que se ve afectada por otro conductor, son directamente proporcionales a la inductancia, que, según su fórmula, aumenta con la separación entre ejes de los cables.

La intensidad máxima admisible disminuye al aumentar el número de cables y disminuir la distancia entre ellos.

I1	I2
382.8423	368.2612
299.9258	284.1722
296.9621	281.2198

► Comparación entre:

- 3 cables directamente enterrados dispuestos en capa, separados 60 mm del cable central
- 3 cables directamente enterrados dispuestos en capa, en contacto entre sí.
- 3 cables directamente enterrados dispuestos en tresbolillo, en contacto entre sí.

Todos ellos con las cubiertas en cortocircuito en ambos extremos y sin armadura

	T1	T2	T3	T4	Wd	R	Ys	Yp	$\lambda_1$
<b>CAPA no contacto</b>	0.3230	0	0.0764	3.5993	0.0403	2.6404e-04	0.0012	1.8023e-04	0.0218
<b>CAPA contacto</b>	0.3230	0	0.0764	3.6607	0.0403	2.6412e-04	0.0012	5.0409e-04	0.0093
<b>tresbolillo contacto</b>	0.3230	0	0.1223	3.7502	0.0403	2.6412e-04	0.0012	5.0409e-04	0.0060

Podemos observar que:

Al disminuir la distancia entre los cables, aumenta la resistividad térmica externa, por el hecho anteriormente comentado, siendo mayor este efecto en los 3 cables dispuestos en tresbolillo.

Que, como es previsible, al aumentar la proximidad de los cables, aumentan las pérdidas por el efecto proximidad.

Las pérdidas en la pantalla aumentan al aumentar la distancia de separación entre los cables

La intensidad máxima admisible disminuye al disminuir la distancia entre los cables.

I1	I2
254.6598	239.6928
254.1202	239.1588
250.3540	235.9397

► Comparación entre:

- 1 cable directamente enterrado
- canalización en terreno de 1 tubo con 1 cable en su interior.
- canalización en terreno de 1 tubo con 2 cables en su interior.
- canalización en terreno de 1 tubo con 3 cables en su interior.

Todos ellos con las cubiertas en cortocircuito en ambos extremos y sin armadura.

Se han utilizado los valores de los diámetros equivalentes para poder ver la respuesta del programa aunque la norma diga que solo es necesario en cables en tubos de acero y el diámetro de las fases dentro del tubo esté comprendido entre 75 mm y 125 mm.

	T1	T2	T3	T4	Wd	R	Ys	Yp	$\lambda_1$
<b>1 cable</b>	0.3230	0	0.0764	1.4005	0.0403	2.6399e-04	0.0012	0	0.0051
<b>1 cable 1 tubo</b>	0.3230	0	0.0764	1.5009	0.0403	2.6415e-04	0.0012	0	0.0051
<b>2 cable 1 tubo</b>	0.3230	0	0.0764	2.4438	0.0403	2.6428e-04	0.0012	3.3184e-04	0.0060
<b>3 cable 1 tubo</b>	0.3230	0	0.0764	2.9834	0.0403	2.6435e-04	0.0012	5.0409e-04	0.0093

Al aumentar el número de cables, aumentan las pérdidas por el efecto proximidad.

Al aumentar el número de cables aumenta la resistencia térmica externa, que ahora se entiende de la siguiente manera:

$$T_4 = T'_4 + T''_4 + T'''_4$$

$T'_4$ : Resistencia térmica entre cable y conducto o tubo (K.m/W).

$T''_4$ : Resistencia térmica del conducto o tubo (K.m/W).

$T'''_4$ : Resistencia térmica del medio circundante al conducto o tubo (K.m/W).

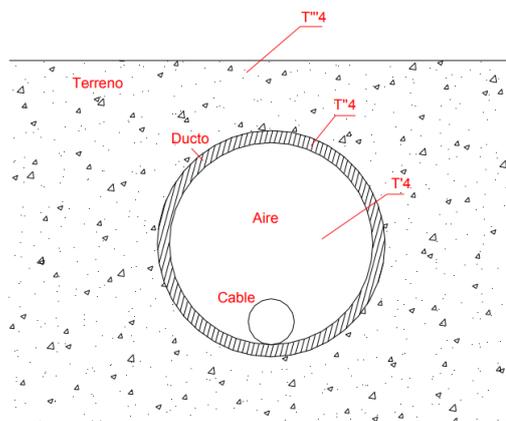


Figura [31]. Esquema del cálculo de resistencias térmicas para el caso de canalizaciones enterradas.

	<b>T4'</b>	<b>T4''</b>	<b>T4'''</b>	<b>T4</b>
<b>canalización 1 cable - 1 tubo</b>	0.4562	0.0141	1.0307	1.5009
<b>canalización 2 cable - 1 tubo</b>	0.3711	0.0141	2.0586	2.4438
<b>canalización 3 cable - 1 tubo</b>	0.3283	0.0141	2.6410	2.9834

$T'_4$ : Disminuye al aumentar el número de cables ya que se considera el conjunto de cables en su interior como uno mediante el uso del diámetro equivalente, que, al aumentar, disminuye el espacio entre este y el conducto.

$T''_4$ : Se mantiene constante ya que es el mismo tipo de conducto.

$T'''_4$ : Aumenta al aumenta debido a la influencia del resto de cables en la canalización, en mayor proporción que  $T'_4$ , que provoca como efecto una disminución de la intensidad máxima permisible.

I1	I2
382.8423	368.2612
372.4563	357.5169
304.1814	288.3931
278.3618	262.8702

► Comparación entre:

- 1 cable directamente enterrado, canalización en terreno y en hormigón de 1 tubo con 1 cable en su interior.
- 2 cables directamente enterrados, canalización en terreno y en hormigón de 1 tubo con 2 cables en su interior.
- 3 cables directamente enterrados, canalización en terreno y en hormigón de 1 tubo con 3 cables en su interior.

Todos ellos con las cubiertas en cortocircuito en ambos extremos y sin armadura.

	<b>Directamente enterrado</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Terreno</b>	<b>Directamente enterrado</b>	<b>Hormigón</b>	<b>Terreno</b>
	I1	I1	I1	I2	I2	I2
<b>1 cable</b>	382.8423	370.2980	354.7958	368.2612	355.2909	339.85
<b>2 cables</b>	296.9621	334.1256	300.807	281.2198	318.4005	285.0387
<b>3 cables</b>	250.3540	307.1602	266.1613	235.9397	291.3637	250.9073

Las Intensidades máximas admisibles son mayores en hormigón que en terreno debido a que se ha planteado la resistividad térmica del hormigón con un valor de 0.8 (K.m/W), frente al 1.5 (K.m/W) del terreno.

En todos los casos la intensidad máxima admisible es mayor en los cables enterrados donde la desecación del suelo no existe, esto tiene sentido ya que la humedad mejora la conductividad térmica.

Por otro lado, ninguna de las intensidades proporciona valores que se salgan de los planteados como correctos.

Se cree que los resultados de las intensidades máximas en canalizaciones son mayores que directamente enterrados porque se ha obtenido un valor muy bajo de resistividad térmica entre cable y conducto, que contiene aire en su interior y es un buen aislante térmico. Esto es probablemente debido al problema de la introducción de datos supuestos y no reales, y que las tablas de la norma UNE consideran los valores de las variables U, Y e V para la configuración planteada “en estudio”.

## 8. CONCLUSIONES.

El trabajo realizado ha permitido diseñar una herramienta útil y accesible eliminando el proceso tedioso y monótono de hacer los cálculos a mano y también la necesidad de que la persona que los realice, necesite tener conocimientos profundos de las normas IEC para el cálculo de las intensidades.

Considero esta, una herramienta con potencial para poder realizar estudios posteriores sobre este tema, pudiendo obtener fácilmente y con gran rapidez, los resultados de las ampacidades para distintos valores de partida introducidos, y junto con estos, la solución a los parámetros que las componen y afectan, pudiendo ver cómo cambiando ciertos valores de entrada, se modifican en mayor o menor grado los valores de salida.

Puede además proporcionar, haciendo unas sencillas modificaciones en las fórmulas, gráficos según un rango de datos, en vez valores puntuales. Como podría ser el caso de la variación de la intensidad en función de la profundidad de instalación, o en función de la resistividad del terreno.

El programa se ha diseñado para ser fácilmente escalable y que, si se requiere, se puedan añadir en un futuro nuevas posibilidades y funciones.

Por ejemplo, añadiendo una función de importación de los datos en las plantillas de manera automática y periódica, podremos realizar un control automático de una instalación real.

A nivel personal, el desarrollo de este proyecto ha sido un reto en dos aspectos diferentes:

- Por un lado, el estudio del folleto técnico CIGRE TB640, las normas IEC 60287 y diversas publicaciones de la universidad de Cantabria que tratan este tema, el cual no ha sido visto con anterioridad durante el periodo de formación en la carrera, lo que ha resultado un arduo proceso de investigación.

- Por otro lado, el reto de aprender a programar en Matlab de forma autodidacta, creando una herramienta desde cero, empezando por el concepto y la planificación de esta, el diseño, el desarrollo e ideando finalmente soluciones para cada uno de los problemas que iban surgiendo en el proceso de creación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA:

- Referencias de las Figuras:

- [1] [2] [5] <https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>
- [3] [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_en\\_Espa%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_en_Espa%C3%B1a)
- [4] <https://www.europapress.es/sociedad/noticia-asi-creceran-grandes-ciudades-espanolas-proximos-anos-20160202114408.html>
- [6] PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030  
[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradoeenergiayclima2021-2030\\_tcm30-487345.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradoeenergiayclima2021-2030_tcm30-487345.pdf)
- [8] <https://www.prysmianclub.es/catalogos/>
- [9] [10] [11] [https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide\\_7.jpg](https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide_7.jpg)
- [12] [13] [14] Norma IEC 60827
- [15] [16] [17] [18] <https://imseingenieria.blogspot.com/search?q=pantallas>
- [20] [21] <http://engineering.electrical-equipment.org/>
- [22] Cigre TB640 – A guide for Rating Calculations of insulated cables
- [24] [https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_pelicular](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular)
- [25] <https://www.elektrisola.com/es/alambres-litz/productos/terminologia-basicos/bases-tecnicas-y-calculos.html#c6616>
- [26] [27] [28] <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/perdidas-dielectrico-cables>
- [29] <https://electricalbaba.com/cable-sheath-loss-calculation/>
- [31] [http://qualitaslearning.com/w/c/t/G\\_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf](http://qualitaslearning.com/w/c/t/G_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf)

- Normativas y libros:

Cigre TB640 – A guide for Rating Calculations of insulated cables

Normas: UNE\_21144\_1\_1 /IEC60287\_1\_1 2006.

Normas: UNE\_21144\_2\_1 /IEC60287\_2\_1 2006.

F. J. B. García, Sistemas de energía eléctrica en alta tensión, Santander: Universidad Cantabria, 2017.

Sistemas de energía eléctricas en alta tensión – Francisco Javier Balbás García.

Normativa Viesgo: Proyecto tipo de líneas de alta tensión subterráneas.

[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01\\_accesible.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01_accesible.pdf)

Normativa Viesgo: norma instalaciones de enlace en alta tensión (hasta 36 kv.)

[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IENT.01\\_NP\\_instalaciones\\_enlace\\_AT\\_hasta\\_36kV.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IENT.01_NP_instalaciones_enlace_AT_hasta_36kV.pdf)

• Otras Fuentes de información:

[http://www.f2i2.net/documentos/Isi/nce/Viesgo/NT-ASDS.01\\_Ed\\_2\\_Ene\\_18.pdf](http://www.f2i2.net/documentos/Isi/nce/Viesgo/NT-ASDS.01_Ed_2_Ene_18.pdf)

[https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/el\\_transporte\\_electrico\\_y\\_su\\_impacto\\_ambiental.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/el_transporte_electrico_y_su_impacto_ambiental.pdf)

<https://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/espana-eficiencia-energetica.pdf>

<https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/transporte>

<http://apps.fomento.gob.es/BDOTLE/iniciobd.aspx?s=1>

[https://elpais.com/economia/2018/12/19/actualidad/1545227809\\_113860.html](https://elpais.com/economia/2018/12/19/actualidad/1545227809_113860.html)

<https://www.ree.es/es/red21/vehiculo-electrico>

[https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/el\\_transporte\\_electrico\\_y\\_su\\_impacto\\_ambiental.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/el_transporte_electrico_y_su_impacto_ambiental.pdf)

<https://energia.gob.es/planificacion/Planificacionelectricidadygas/desarrollo2015->

[2020/Documents/Planificaci%C3%B3n%202015\\_2020%20%202016\\_11\\_28%20VPublicaci%C3%B3n.pdf](https://energia.gob.es/planificacion/Planificacionelectricidadygas/desarrollo2015-2020/Documents/Planificaci%C3%B3n%202015_2020%20%202016_11_28%20VPublicaci%C3%B3n.pdf)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n\\_distribuida#La\\_generaci%C3%B3n\\_distribuida\\_y\\_las\\_redes\\_de\\_distribuci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_distribuida#La_generaci%C3%B3n_distribuida_y_las_redes_de_distribuci%C3%B3n)

<https://energia.gob.es/planificacion/Planificacionelectricidadygas/desarrollo2015->

[2020/Documents/Planificaci%C3%B3n%202015\\_2020%20%202016\\_11\\_28%20VPublicaci%C3%B3n.pdf](https://energia.gob.es/planificacion/Planificacionelectricidadygas/desarrollo2015-2020/Documents/Planificaci%C3%B3n%202015_2020%20%202016_11_28%20VPublicaci%C3%B3n.pdf)

<https://es.mathworks.com/matlabcentral/answers/index>

[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB\\_GUIDE.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB_GUIDE.pdf)

[https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=51427/2011/1/54503/tema\\_1\\_fundamentos\\_de\\_matlab-5148.pdf](https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=51427/2011/1/54503/tema_1_fundamentos_de_matlab-5148.pdf)

<https://www.youtube.com/channel/UCYbcR13KbFI466zrlvcai-w/playlists> Óscar Cáceres

<https://www.youtube.com/user/vicentz1064/featured> vicente torres

<https://www.youtube.com/user/diegokillemall/featured> diegokillemall

<http://www.spadiproject.es/wp-content/uploads/2017/10/CIGRE-Gesti%C3%B3n-din%C3%A1mica-de-cables-subterr%C3%A1neos.pdf>

[https://industria.gob.es/es-ES/participacion\\_publica/Documents/especificaciones-tecnicas-Endesa/KRZ001\\_EP-Lineas-Subterranas-Alta-Tension-accesible.pdf](https://industria.gob.es/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-tecnicas-Endesa/KRZ001_EP-Lineas-Subterranas-Alta-Tension-accesible.pdf)



<b>TÍTULO</b>	<b>SOFTWARE PARA EL CALCULO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN LINEAS SUBTERRANEAS</b>		
<b>AUTOR</b>	<b>CAMINO BAUSELA VIVAR</b>		
<b>DIRECTOR / PONENTE</b>	<b>MARIO MAÑANA CANTELI</b>		
<b>TITULACIÓN</b>	<i>Grado en ingeniería en Ingeniería eléctrica</i>	<b>FECHA</b>	/02/2020

## PLABRAS CLAVE

Línea subterránea, Media tensión, Intensidad máxima admisible, Ampacidad, Matlab, Software de cálculo.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento de la demanda de energía en núcleos urbanos y de la generación distribuida, implica la necesidad de construcción y repotenciación de las redes de distribución subterráneas. Se considera además un sobredimensionamiento de las redes españolas debido a unas consideraciones demasiado conservadoras bajo escenarios límite.

Ante este hecho, se plantea como medida, un análisis de la Ampacidad de las redes eléctricas ya existentes y de las nuevas líneas planificadas, bajo unas condiciones realistas, basadas en el conocimiento de la instalación y de las condiciones que la rodean y la implementación a futuro, de una gestión dinámica de estas, utilizando como referencia el folleto técnico TB640 – CIGRE y las normas IEC 60287

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha diseñado, mediante el programa informático Matlab, una herramienta capaz de realizar los cálculos de la Intensidad máxima admisible bajo diferentes situaciones y tipos de instalación, teniendo en cuenta las condiciones a las que se encuentra sometida.

Para las ecuaciones en las que se basan dichos cálculos, se ha utilizado como guía, como hemos dicho anteriormente, el informe TB640 publicado por CIGRE y las normas IEC 60287.

En primer lugar se ha creado una sección, cuyo objetivo será guiar al usuario a través de los puntos de partida y los diferentes parámetros que influyen en los resultados y porqué.

A continuación se ha analizado de este software de cálculo, tanto el Front-end que es la parte que interactúa con los usuarios, como el back-end, que es la

lógica interna que maneja los datos y ecuaciones introducidas, y que no es directamente accesible a los usuarios que utilizan la aplicación.

Finalmente se han llevado a cabo simulaciones de diferentes instalaciones, o de estas mismas pero sometidas a diferentes condiciones, definiendo unos parámetros de entrada para el programa y analizado los resultados obtenidos, tanto de forma individual como comparándolos entre ellos, para poder afirmar el buen funcionamiento del programa.

## **CONCLUSIONES.**

El trabajo realizado ha permitido diseñar una herramienta útil y accesible eliminando el proceso tedioso y monótono de hacer los cálculos a mano y también la necesidad de que la persona que los realice, necesite tener conocimientos profundos de las normas para el cálculo de las intensidades.

Por otro lado, considero esta, una herramienta con potencial para poder realizar estudios posteriores, analizando como en función de los parámetros de entrada cambian los valores de salida, tanto para la amplitud como para los parámetros que influyen en esta.

Además se ha diseñado el programa para ser fácilmente escalable y que, si se requiere, se puedan añadir en un futuro nuevas posibilidades y funciones.

A nivel personal, el desarrollo de este proyecto ha sido un reto en dos aspectos diferentes:

Por un lado, adquirir y ampliar los conocimientos necesarios sobre los sistemas de instalación subterránea, elementos que los componen y los cálculos necesarios para el programa.

Por otro lado, el reto de aprender a programar en Matlab de forma autodidacta, creando una herramienta desde cero, empezando por el concepto y la planificación de esta, el diseño, el desarrollo e ideando finalmente soluciones para cada uno de los problemas que iban surgiendo en el proceso de creación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cigre TB640 – A guide for Rating Calculations of insulated cables  
Normas: UNE\_21144\_1\_1 /IEC60287\_1\_1 2006.  
Normas: UNE\_21144\_2\_1 /IEC60287\_2\_1 2006.  
F. J. B. García, Sistemas de energía eléctrica en alta tensión, Santander: Universidad Cantabria, 2017.  
Sistemas de energía eléctricas en alta tensión – Francisco Javier Balbás García.  
Normativa Viesgo: Proyecto tipo de líneas de alta tensión subterráneas.  
[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01\\_accesible.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01_accesible.pdf)  
Normativa Viesgo: norma instalaciones de enlace en alta tensión (hasta 36 kv.)  
[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01\\_NP\\_instalaciones\\_enlace\\_AT\\_hasta\\_36kV.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01_NP_instalaciones_enlace_AT_hasta_36kV.pdf)  
<https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_en\\_Espa%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_en_Espa%C3%B1a)  
<https://www.europapress.es/sociedad/noticia-asi-creceran-grandes-ciudades-espanolas-proximos-anos-20160202114408.html>  
PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030  
[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradodeenergíayclima2021-2030\\_tcm30-487345.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradodeenergíayclima2021-2030_tcm30-487345.pdf)  
<https://www.prysmianclub.es/catalogos/>  
[https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide\\_7.jpg](https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide_7.jpg)  
<https://imseingenieria.blogspot.com/search?q=pantallas>  
<http://engineering.electrical-equipment.org/>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_pelicular](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular)  
<https://www.elektrisola.com/es/alambres-litz/productos/terminologia-basicos/bases-tecnicas-y-calculos.html#c6616>  
<https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/perdidas-dielectrico-cables>  
<https://electricalbaba.com/cable-sheath-loss-calculation/>  
[http://qualitaslearning.com/w/c/t/G\\_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf](http://qualitaslearning.com/w/c/t/G_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf)

<b>TITLE</b>	<b>SOFTWARE PARA EL CALCULO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN LINEAS SUBTERRANEAS</b>		
<b>AUTHOR</b>	<b>CAMINO BAUSELA VIVAR</b>		
<b>DIRECTOR / SPEAKER</b>	<b>MARIO MAÑANA CANTELI</b>		
<b>CERTIFICATION</b>	<i>Grado en ingeniería en Ingeniería eléctrica</i>	<b>FECHA</b>	/02/2020

## KEYWORDS

Underground line, Medium voltage, Maximum admissible intensity, Ampacity , Matlab , Calculation software .

## PROBLEM STATEMENT

The increase in the demand for energy in urban centers and distributed generation implies the need for construction and repowering of underground distribution networks. It is also considered an oversizing of Spanish electrical grids due to overly conservative considerations under limit scenarios .

Given this fact, it is proposed as a solution an analysis of the Ampacity of the existing power grids and new planned lines, under realistic conditions, based upon knowledge of the installation, the surrounding conditions and implementation in the future, of a dynamic management of these, using as reference the TB640 - CIGRE technical brochure and the IEC 60287 standards.

## PROJECT DESCRIPTION

This project has been designed using the software Matlab , a tool capable of performing the calculations of the maximum allowable intensity under different situations and types of installation, as well as taking into account the conditions to which it is subject .

For the equations on which these calculations are based , the TB640 report published by CIGRE and the IEC 60287 standards have been used as a guide .

In the first place , a section has been created, whose objective will be guiding the user through the key points and the different parameters that affect the results and why.

After that, we have analyzed,from this software, both the Front-end, that is the part that interacts with users, as well as the back-end , which is the internal logic that handles the data and equations inputed, and not directly accessible to the end-users of the application.

Finally, simulations of different installations have been performed, or of the same ones, but subject to different conditions, defining input parameters for the program and analyzing the results obtained, both individually and comparing them between themselves, in order to confirm the good operation of the program.

## CONCLUSIONS

The work has allowed us to design a useful and accessible tool eliminating the tedious and monotonous process of doing the calculations by hand and also the need for the person who performs them, need to have deep knowledge of the standards for the calculation of intensities.

On the other hand, on this side, a tool with the potential to carry out further studies, analyzing how the output values change depending on the input parameters, both for the ampacity and for the parameters that influence it.

In addition, the program has been designed to be easily scalable and, if required, new possibilities and functions can be added in the future.

On a personal level, the development of this project has been a challenge in two different aspects:

On the one hand, acquire and expand the necessary knowledge about underground installation systems, elements that compose them and the necessary calculations for the program.

On the other hand, the challenge of learning to program in Matlab in a self-taught way, creating a tool from scratch, starting with the concept and planning of this, design, development and finally devising solutions for each of the problems that arose in the process of creation.

## BIBLIOGRAPHY

Cigre TB640 – A guide for Rating Calculations of insulated cables

Normas: UNE\_21144\_1\_1 /IEC60287\_1\_1 2006.

Normas: UNE\_21144\_2\_1 /IEC60287\_2\_1 2006.

F. J. B. García, Sistemas de energía eléctrica en alta tensión, Santander: Universidad Cantabria, 2017.

Sistemas de energía eléctricas en alta tensión – Francisco Javier Balbás García.

Normativa Viesgo: Proyecto tipo de líneas de alta tensión subterráneas.

[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01\\_accesible.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/PT-LSAT.01_accesible.pdf)

Normativa Viesgo: norma instalaciones de enlace en alta tensión (hasta 36 kv.)

[https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01\\_NP\\_instalaciones\\_enlace\\_AT\\_hasta\\_36kV.pdf](https://www.viesgodistribucion.com/documentos/normativa/NT-IEMT.01_NP_instalaciones_enlace_AT_hasta_36kV.pdf)

<https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_en\\_Espa%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_en_Espa%C3%B1a)

<https://www.europapress.es/sociedad/noticia-asi-creceran-grandes-ciudades-espanolas-proximos-anos-20160202114408.html>



## PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030

[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradoeenergiayclima2021-2030\\_tcm30-487345.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoresumendelborradorplannacionalintegradoeenergiayclima2021-2030_tcm30-487345.pdf)

<https://www.prysmianclub.es/catalogos/>

[https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide\\_7.jpg](https://images.slideplayer.es/47/11728644/slides/slide_7.jpg)

<https://imseingenieria.blogspot.com/search?q=pantallas>

<http://engineering.electrical-equipment.org/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_pelicular](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular)

<https://www.elektrisola.com/es/alambres-litz/productos/terminologia-basicos/bases-tecnicas-y-calculos.html#c6616>

<https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/perdidas-dielectrico-cables>

<https://electricalbaba.com/cable-sheath-loss-calculation/>

[http://qualitaslearning.com/w/c/t/G\\_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf](http://qualitaslearning.com/w/c/t/G_862KGP/Dossier%20con%20formato.pdf)